

CONFERENCE BOOK



KARADENİZ 20. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES JUNE 26 – 28, 2026 RİZE

ISBN : 978-625-8795-17-2

ACADEMY GLOBAL PUBLISHING HOUSE





**KARADENİZ 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
JUNE 26 – 28, 2026
RIZE**

**Edited By
PROF. DR. HÜLYA ÇİÇEK**

**Issued: 30.07.2026
ISBN: 978-625-8795-17-2**

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

**In the conference 54 papers have been presented by Turkish participants and 70 papers
by international participants.**

**Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an
"official assignment letter"**

The Contents Of This Book Are Solely Those Of The Authors.

Bu Kitabın içeriğinin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

Web: www.karadenizkongresi.org

Contact: karadenizkongresi@gmail.com

CONFERENCE ID

KARADENIZ 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES**DATE – PLACE****JUNE 26 – 28, 2026****RIZE****ORGANIZATION****ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS****EVALUATION PROCESS****All applications have undergone a double-blind peer review process.****PARTICIPATING COUNTRIES**

Turkey – Oman – Pakistan – Armenia- India – Ukraine- Egypt – Morocco – Romania – Algeria-
Bangladesh- Moldova –Libya- Yemen – Uzbekistan -

PRESENTATION**Oral presentation**

No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical or any other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any form of information storage or retrieval systems, without permission from the publishers.

Academy Global–2026©

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Head of Conference : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

Prof. Dr. Al-Rashiff H. Mastul -Mindanao State University

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy - Mindanao State University

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Batman Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur - Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Erkan EFİLTİ - Kırgızistan-Türkiye Manas University

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sevrə Fıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Üniversitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Türkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Türkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Türkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Türkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - 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. 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

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Türkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Türkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Türkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevrâ Fırıncıoğulları - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – 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

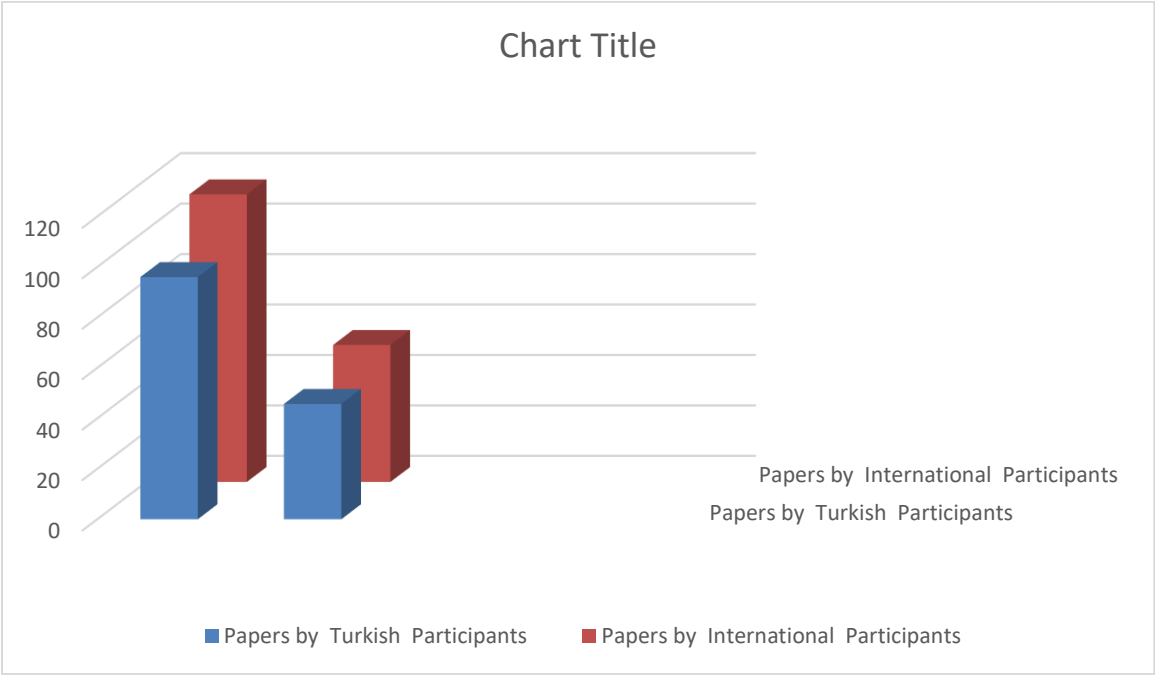
Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Türkiye

- Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan
- Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran
- Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya
- Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizistan
- Assist. Prof. K. R. Padma – India
- Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan
- Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia
- Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria
- Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania
- Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia
- Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia
- Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran
- Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan
- Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria
- Assist. Prof. Dr. Alia R. Masalimova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Ayslu B. Sarsekenova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India
- Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. K.A. Tleubergenova - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia
- Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam
- Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

- Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunalieva - Kirgizia
- Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China
- Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan
- Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa
- Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India
- Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania
- Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines
- Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam
- Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Türkiye
- Dr. Mehmet Nuri Ödük – Türkiye
- Dr. Ayşe Baran - Türkiye
- Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
- Dr. Sonali Malhotra – India
- Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	<i>Number of paper</i>	<i>%</i>
<i>Papers by Turkish Participants</i>	54	43,55
<i>Papers by International Participants</i> <i>(13 Countries)</i>	70	56,45





KARADENİZ 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
JUNE 26 – 28, 2026
RİZE

NO : **AC- 20K - 2026. 350A– 3850**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi

20/07/2026

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES** kongresi 26-28 Haziran 2026 tarihlerinde Rize’de 14 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 124 bildirinin 54’ü Türkiye’den, 70’i ise farklı 13 ülkeden katılan akademisyenler tarafından sunulmuştur. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen “Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır.” değişikliğine uygun olarak düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz ederiz

Saygılarımızla

Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK



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 : tipfaksek@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi

Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel

Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.



KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL
SCIENCES
KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED
SCIENCES
KARADENİZ 4TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
June 26 – 28, 2026
RİZE

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

<https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=fOYazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.1>

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224



ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerini kullanabilirsiniz.
- **Oturum içerisinde en KIDEMLİ olan moderatör olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.**
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- **Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilir.**
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- **Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.**
- Sunum yapmak zorunludur. **Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- To be able to make a meeting online, login via <https://zoom.us/join> site, enter ID instead of “Meeting ID or Personal Link Name” and solidify the session.
- The Zoom application is free and no need to create an account.
- The Zoom application can be used without registration.
- The application works on tablets, phones and PCs.
- Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time.
- All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- During the session, your camera should be turned on **at least %70** of session period
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

- Make sure your computer has a microphone and is working.
- You should be able to use screen sharing feature in Zoom.
- Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.
- Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number,

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RİZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Öğretim Üyesi, Maral TÖRENLİ ÇAKIROĞLU	1	SHARED CHILDHOOD: THE LEGAL DIMENSIONS OF SHARENTING	Dr. Öğretim Üyesi, Maral TÖRENLİ ÇAKIROĞLU,
		2	CLİCKBAİT (TIK TUZAĞI) HABERCİLİĞİNİN ÖTESİ: DEĞİŞEN HABER TÜKETİM ALIŞKANLIKLARI	Öğr. Gör. HAKTAN DURSUN
		3	ÜNİVERSİTE VE TOPLUM ARASINDA ARTAN DİYALOG: BİLİM İLETİŞİMİNDE KURUMSALLAŞMANIN ETKİSİ VE DEĞİŞEN DİNAMİKLER	Öğr. Gör. Dr., Çiçek TOMRUKÇU
		4	İLETİŞİMDE SINIR İHLALİ: MAHREMİYET, SAYGI VE DİJİTAL ÇAĞDA DEĞİŞEN NORMLAR	DR. SİDİKA SİBEL BAYYİĞİT
		5	THE REPRESENTATION OF LITERARY FIGURES IN ZEKİ DEMİRKUBUZ'S INTERVIEWS	Doç. Dr. MEVLÜT CAN KOÇAK Öğr. Gör. OLGUN KÜÇÜK
		6	THE GLORIFICATION OF SUICIDE: A CRITICAL ANALYSIS OF THE REPORTING OF AN ENGINEER'S SUICIDE	Doç. Dr. MEVLÜT CAN KOÇAK Öğr. Gör. OLGUN KÜÇÜK
		7	A GLIMPSE INTO THE HISTORY OF BAKING AND PASTRY-MAKING CULTURE: A FIELD STUDY IN RİZE	Yüksek lisans öğrencisi, Hümeysra YAVAŞI Doç. Dr. Gökhan ONAT
		8	ALGILANAN GIDA KRİZİNİN YENİLEBİLİR BÖCEKLERİ REÇETELERDE UYGULAMA NİYETİNE ETKİSİ	Büşra Elem YILDIRIM Doç. Dr. Yusuf KARAKUŞ

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RİZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Doçent, ÇAĞLAR OKUR	1	ANADOLU ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS HARİTASI TASARIMI: YÖN BULMA VE GÖRSEL İLETİŞİM ODAKLI BİR UYGULAMA ARAŞTIRMASI	Doçent, ÇAĞLAR OKUR
		2	MOĞOL BOZKIRINDA KADIN, GÜÇ ve ESTETİĞİN KIYAFET TASARIMLARINDA BÜTÜNLEŞMESİ: CENGİZ HAN'IN KIZLARI	Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR Yüksek Lisans Hasret Büşra BABA
		3	RİZE'NİN KIYAFET TASARIMLARINDA HAYAT BULAN KÜLTÜR ve KİMLİĞİ	Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR Yüksek Lisans Zeynep KAVUNCUOĞLU
		4	AN EVALUATION ON RURAL ARCHITECTURE AND TOMBSTONE TRADITION: THE CENTRAL MOSQUE AND CEMETERY OF ORTAKÖY QUARTER IN VAKFIKEBİR / TRABZON	Dr. Öğr. Üyesi Raziye Çiğdem ÖNAL
		5	EVALUATION OF A GROUP OF WOODEN ARTIFACTS IN THE ÖDEMİŞ YILDIZ CITY ARCHIVE AND MUSEUM IN TERMS OF THEIR DECORATIVE CHARACTERISTICS	Öğr. Gör. Dr. Aytaç AKINAY
		6	SES EĞİTİMİ BAĞLAMINDA NİNNİ SÖYLEME GELENEĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Sevda GÜREL Can Berk KURUL
		7	SES EĞİTİMİ BAĞLAMINDA LİNKlater METODU VE DOĞAL SES ANLAYIŞININ İNCELENMESİ	Can Berk KURUL Dr. Öğr. Üyesi Sevda GÜREL
		8	ORDU TÜRKÜLERİNDE HÜZNÜN SEMBOLİK DİLİ: AYRILIK, KEDER, YALNIZLIK VE ÇARESİZLİK	Dr. Öğr. Üyesi Sevda GÜREL Akif BAYAZİT

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Doç. Dr. Fatih GÜLER	1	PERCEPTIONS OF LEGISLATIVE IMMUNITY AND PARLIAMENTARY AWARENESS: AN EVALUATION OF THE BURHANETTİN KOCAMAZ CASE	Doç. Dr. Fatih GÜLER
		2	THE USABILITY OF THE TV SERIES THE CROWN IN CONSTITUTIONAL LAW TEACHING: THE EXAMPLE OF CONSTITUTIONAL MONARCHY AND THE INSTITUTION OF THE HEAD OF STATE	Doç. Dr. Fatih GÜLER
		3	DARK FLEET STS TRANSFERS AND EEZ JURISDICTION: THE ROLE OF IMO RESOLUTION A.1192(33)	Dr. AHMEDİ CİHANGİR İLTAŞ
		4	OVERVIEW OF EU ETS AND FUELEU MARITIME IN TIME CHARTERPARTIES: ALLOCATING LIABILITY BETWEEN SHIPOWNERS AND TIME CHARTERERS	DR AHMEDİ CİHANGİR İLTAŞ
		5	HABERMAS'TA PARANIN HUKUKSALLAŞTIRILMASI	Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR Yrd. Doç. Dr. Altay İltan Aktürk, Öğr. Gör. Dr. Ecem KOCAOĞLAN
		6	FOUCAULT SOSYOLOJİSİNDEKİ TOPLUMSAL KONTROL MEKANİZMALARININ ARAÇSALLAŞTIRILMASINI YENİDEN OKUMAK	Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR Yrd. Doç. Dr. Altay İltan Aktürk, Öğr. Gör. Dr. Ecem KOCAOĞLAN
		7	THE ETHICAL AND LEGAL ASPECTS OF THE PHYSICIAN-PATIENT RELATIONSHIP WITHIN THE CONTEXT OF PATIENT RIGHTS	Research Assistant Dr. Burak KARA
		8	TÜRK HUKUKUNDA VEKÂLET SÖZLEŞMESİ VE BENZER HUKUKİ MÜESSESELERLE KARŞILAŞTIRILMASI	Doç. Dr. İsmail ATAMULU Yüksek Lisans Öğrencisi, Fatma DOĞRU

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
June 26 – 28, 2026				
RIZE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Haziran / June 26, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Doç. Dr. Özgür EKEN	1	ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA ARAŞTIRMACI SORUMLULUĞU VE BİLİMSEL GÜVENİLİRLİK: ELEŞTİREL BİR DERLEME	ESRA AKTAŞ Doç. Dr. Özgür EKEN Prof. Dr. Betül AKYOL
		2	NEGOTIATING JEALOUSY, TIME AND INTIMACY IN THE ROMANTIC RELATIONSHIPS OF FITNESS-ENGAGED WOMEN: AN INTEGRATIVE CONCEPTUAL FRAMEWORK IN THE CONTEXT OF NON-EXERCISING PARTNERS	ESRA AKTAŞ Doç. Dr. Özgür EKEN Prof. Dr. Betül AKYOL
		3	PİLATES EGZERSİZLERİNİN DEPRESYON, ANKSIYETE VE STRES ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNE İLİŞKİN GÜNCEL KANITLARIN ELEŞTİREL DEĞERLENDİRİLMESİ	Feray TUTAL Doç. Dr. Özgür EKEN Doç. Dr. Yahya DOĞAR
		4	KADINLARDA PİLATES EGZERSİZLERİNİN FİZİKSEL VE PSİKOLOJİK SAĞLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNE YÖNELİK GÜNCEL KANITLARIN İNCELENMESİ	Feray TUTAL Doç. Dr. Özgür EKEN Doç. Dr. Yahya DOĞAR
		5	A CRITICAL ANALYSIS OF THE CURRENT LITERATURE ON THE RELATIONSHIP BETWEEN SCHOOL SPORTS AND SOCIAL SKILL DEVELOPMENT	İlayda ZEYVELİ Doç. Dr. Özgür EKEN Doç. Dr. Serpil AKÇINAR
		6	A CRITICAL REVIEW OF CHANGES IN CHILDREN'S PHYSICAL ACTIVITY LEVELS IN THE AGE OF DIGITALIZATION: A SYSTEMATIC REVIEW	İlayda ZEYVELİ Doç. Dr. Özgür EKEN Doç. Dr. Serpil AKÇINAR

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 26 – 28, 2026 RİZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Prof. Dr. MEHMET BARAN	1	MESLEK YÜKSEKOKULLARINDA İŞYERİ UYGULAMALI EĞİTİM MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE ÖNEMİ: TERME MYO ÖRNEĞİ	Prof.Dr. EROL TERZİ Öğr.Gör. ŞAHİN DEĞİRMENCİ
		2	MESLEK YÜKSEKOKULLARINDA İŞYERİNDE UYGULAMALI EĞİTİMİN ÖĞRENCİLERİN KARIYER GELİŞİMİNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ: ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ TERME MESLEK YÜKSEKOKULU ÖRNEĞİ	Prof.Dr. EROL TERZİ Öğr.Gör. ŞAHİN DEĞİRMENCİ Arş.Gör. MEHMET ŞİRİN ATEŞ
		3	UPPER BOUND ESTIMATE OF THE SECOND HANKEL DETERMINANT FOR CERTAIN SUBCLASS OF CONVEX FUNCTIONS	Prof. Dr. NIZAMI MUSTAFA Prof. Dr. VEYSEL NEZİR Grad. Stud. SELAHATTİN ÇİN
		4	UPPER BOUND ESTIMATE OF THE SECOND HANKEL DETERMINANT FOR CERTAIN SUBCLASS OF STARLIKE FUNCTIONS	Prof. Dr. NIZAMI MUSTAFA Prof. Dr. VEYSEL NEZİR Grad. Stud. SELAHATTİN ÇİN
		5	COEFFICIENT AND FEKETE-SZEGÖ PROBLEM FOR CERTAIN SUBCLASS OF STARLIKE FUNCTIONS ASSOCIATED WITH q- ANALOGUE OF THE q- EXPONENTIAL FUNCTION	Prof. Dr. NIZAMI MUSTAFA Prof. Dr. VEYSEL NEZİR Grad. Stud. SELAHATTİN ÇİN
		6	COEFFICIENT AND FEKETE-SZEGÖ PROBLEM FOR CERTAIN SUBCLASS OF CONVEX FUNCTIONS ASSOCIATED WITH q- ANALOGUE OF THE q- EXPONENTIAL FUNCTION	Prof. Dr. NIZAMI MUSTAFA Prof. Dr. VEYSEL NEZİR Grad. Stud. SELAHATTİN ÇİN
		7	COMPUTATIONAL TOPOLOGICAL MODELING AND DYNAMIC VISUALIZATION OF MULTIVALUED FUNCTIONS VIA RIEMANN SURFACES	Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU Prof. Dr. Yasin SOYLU Dr. Öğr. Üyesi Arif Cem TOPUZ
		8	INTERACTIVE TEACHING OF TOPOLOGICAL MANIFOLDS: DYNAMIC 3D MODELING OF THE KLEIN BOTTLE	Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU Prof. Dr. Yasin SOYLU Dr. Öğr. Üyesi Arif Cem TOPUZ
		9	SOBER REFLEXIVE SPACES	ALİ ALBAYRAK Prof. Dr. MEHMET BARAN
		10	REFLEXIVE SPACES	MEHMET AKYEL Prof. Dr. MEHMET BARAN

No:5

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dwi SULISWORO	1	A PRELIMINARY CONCEPTUAL FRAMEWORK OF INTEGRATED ENGLISH LEARNING IN CLASSROOM AND DORMITORY SETTINGS AT MUHAMMADIYAH BOARDING SCHOOLS	Nurwanto Ikmi Nur OKTAVIANTI
		2	PROGRESSIVE LEADERSHIP IN THE DIGITAL TRANSFORMATION OF KARAWITAN LEARNING THROUGH THE DEVELOPMENT OF AN ANDROID-BASED KEPATIHAN NOTATION APPLICATION IN PERFORMING ARTS VOCATIONAL SCHOOLS	Wahyudi Taufan SANTOSO Ratri Nur HIDAYATI
		3	DEVELOPMENT OF A SELF-REGULATION-BASED DEEP LEARNING INSTRUCTIONAL MODEL FOR UNDERSTANDING FRACTIONS AMONG HYPERACTIVE-IMPULSIVE ADHD STUDENTS IN ELEMENTARY SCHOOL	Anis Rofiah Wahyu Nanda Eka Saputra
		4	CONSTRUCTING A GOOD GOVERNANCE-BASED MODEL FOR MUHAMMADIYAH ISLAMIC BOARDING SCHOOL GOVERNANCE TO STRENGTHEN EDUCATIONAL QUALITY: A MULTISITE STUDY	Agustyani ERNAWATI Dwi SULISWORO
		5	TRANSFORMING LITERACY CULTURE IN VOCATIONAL HIGH SCHOOLS THROUGH MULTIDIMENSIONAL LITERACY PROGRAMS BASED ON STUDENTS' NEEDS AND WORKFORCE DEMANDS	Asri PUJIHASTUTI Dwi SULISWORO

No: 4

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Giorgi Tsiklauri	1	CLIMATE CHANGE IMPACTS ON COASTAL EROSION PATTERNS ALONG TUNISIAN MEDITERRANEAN SHORELINES	Prof. Dr. Amel Ben Salem Karim Trabelsi Nadia Jrad Hassen Karray
		2	WATER RESOURCE MANAGEMENT CHALLENGES IN TUNISIA'S SOUTHERN OASES UNDER DROUGHT CONDITIONS	Assoc. Prof. Dr. Lilia Hachicha Mohamed Neji Sahar Ben Ali
		3	GEOMORPHOLOGICAL EVOLUTION OF BLACK SEA COASTAL DELTAS IN GEORGIA	Dr. Giorgi Tsiklauri Nino Chikhradze Levan Beridze
		4	URBAN HEAT ISLAND EFFECTS AND LAND USE CHANGES IN TBILISI METROPOLITAN REGION	Prof. Dr. Mariam Gelashvili Irakli Lomidze Tamar Kapanadze
		5	TROPICAL CYCLONE INTENSITY FORECASTING MODELS FOR SINGAPORE STRAIT MARITIME SAFETY	Assoc. Prof. Dr. Wei Tan Dr. Mei Ling Rajesh Kumar
		6	MANGROVE ECOSYSTEM MAPPING AND CARBON SEQUESTRATION IN SINGAPORE COASTAL WETLANDS	Siti Rahman Prof. Dr. Lim Hock
		7	ATLAS MOUNTAINS GLACIER RETREAT PATTERNS AND HYDROLOGICAL IMPLICATIONS IN MOROCCO	Prof. Dr. Fatima Zahraoui Youssef Bennani Amina El-Khatib
		8	DESERTIFICATION PROCESSES AND LAND DEGRADATION IN MOROCCO'S PRE-SAHARA REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Hassan Rhouma Nadia Belghiti
		9	URBAN EXPANSION DYNAMICS AND SPRAWL ANALYSIS IN CASABLANCA METROPOLITAN AREA	Dr. Omar Lahlou Karim Alami Laila Souissi

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Dr. Dana Beketova	1	LEGAL REFORMS AND JUDICIAL INDEPENDENCE IN POST-SOVIET KAZAKHSTAN: CHALLENGES AND PROSPECTS	Aidos Saparov Dr. Gulmira Tulegenova Nursultan Zhaksybek Yermek Sadykov
		2	DIGITALIZATION OF LEGAL SERVICES AND E-GOVERNANCE FRAMEWORKS IN KAZAKHSTAN	Dr. Dana Beketova Aruzhan Kairat
		3	HUMAN RIGHTS PROTECTION AND CONSTITUTIONAL LAW DEVELOPMENTS IN MODERN ALGERIA	Prof. Dr. Karim Benyahia Dr. Samira Ould Ahmed Yacine Meziane
		4	CRIMINAL LAW REFORMS AND ANTI-CORRUPTION POLICIES IN ALGERIAN PUBLIC ADMINISTRATION	Dr. Nadia Belkacem Rachid Touati
		5	ISLAMIC LAW AND CONTEMPORARY FAMILY LAW PRACTICES IN MOROCCAN SOCIETY	Prof. Dr. Hassan El Idrissi Amina Lahlou Youssef Benjelloun
		6	COMMERCIAL LAW AND FOREIGN INVESTMENT REGULATIONS IN MOROCCO'S EMERGING MARKETS	Assoc. Prof. Dr. Fatima Zahra El Amrani Karim Ouazzani
		7	ENVIRONMENTAL LAW AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT POLICIES IN MOROCCO	Dr. Omar El Fassi Salma Bennani Prof. Dr. Rachid El Khatib
		8	POST-CONFLICT LEGAL RECONSTRUCTION AND TRANSITIONAL JUSTICE IN LIBYA	Prof. Dr. Mahmoud Al-Tarhuni Dr. Salwa Bengehazi Fathi Al-Misrati
		9	OIL AND ENERGY LAW REGULATIONS IN LIBYA: LEGAL FRAMEWORK AND INTERNATIONAL AGREEMENTS	Assoc. Prof. Dr. Ahmed Al-Zawi Khaled Al-Fitouri

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Leila Bensouda	1	MACROECONOMIC EFFECTS OF ENERGY SUBSIDY REFORMS ON HOUSEHOLD WELFARE IN IRAN	Dr. Mahsa Ebrahimi Ali Hosseinzadeh Dr. Reza Karimi
		2	DIGITAL ECONOMY EXPANSION AND ITS IMPACT ON EMPLOYMENT STRUCTURES IN IRANIAN URBAN AREAS	Assoc. Prof. Dr. Nima Jafari Sara Rahmani
		3	TRADE LIBERALIZATION AND INDUSTRIAL COMPETITIVENESS IN ALGERIAN MANUFACTURING SECTORS	Prof. Dr. Karim Benali Nadia Zerhouni Yacine Belkacem
		4	PUBLIC INVESTMENT STRATEGIES AND ECONOMIC DIVERSIFICATION IN ALGERIA'S NON-OIL SECTORS	Dr. Samir Bouzid Amel Haddad
		5	SUSTAINABLE TOURISM ECONOMICS AND REGIONAL DEVELOPMENT IN MOROCCAN COASTAL CITIES	Youssef Benkirane Prof. Dr. Hassan El Fassi Amina Lahlou
		6	AGRICULTURAL VALUE CHAINS AND RURAL INCOME DISTRIBUTION IN MOROCCO	Assoc. Prof. Dr. Rachid Amrani Fatima Zahra El Idrissi Omar El Mokhtar
		7	FINANCIAL INCLUSION AND MICROFINANCE IMPACT ON WOMEN ENTREPRENEURSHIP IN MOROCCO	Dr. Leila Bensouda Khalid Tazi

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Haziran / June 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Dr. Sophia Nikolaou	1	DIGITAL PEDAGOGY TRANSFORMATION AND ONLINE LEARNING EFFECTIVENESS IN IRANIAN HIGHER EDUCATION SYSTEMS	Prof. Dr. Ibrahim Musa Amina Abdullahi
		2	CURRICULUM INNOVATION AND CRITICAL THINKING DEVELOPMENT IN IRANIAN SECONDARY EDUCATION	Nima Karimi Assoc. Prof. Dr. Zahra Mohammadi
		3	TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT AND CLASSROOM TECHNOLOGY INTEGRATION IN NIGERIAN SCHOOLS	Dr. Chinedu Okafor Ngozi Eze Sani Bello
		4	ACCESS TO QUALITY EDUCATION IN RURAL NIGERIA: CHALLENGES AND POLICY SOLUTIONS	Prof. Dr. Mohammad Reza Farhadi Dr. Leila Hosseini Amir Tavakoli
		5	STUDENT-CENTERED LEARNING APPROACHES IN GREEK UNIVERSITIES AND THEIR IMPACT ON ACADEMIC SUCCESS	Nikos Stavros Assoc. Prof. Dr. Dimitrios Papadakis Eleni Georgiou
		6	THE ROLE OF EDUCATIONAL LEADERSHIP IN SCHOOL IMPROVEMENT IN CONTEMPORARY GREECE	Dr. Maria Konstantinou Theo Angelopoulos
		7	INCLUSIVE EDUCATION PRACTICES FOR STUDENTS WITH SPECIAL NEEDS IN GREEK PRIMARY SCHOOLS	Prof. Dr. Ioannis Karalis Dr. Sophia Nikolaou Dr. Alexandros Petrou

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RİZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Assoc. Prof. Dr. Ahmed El-Sharif	1	DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGIES AND INNOVATION MANAGEMENT IN KAZAKHSTANI ENTERPRISES	Dr. Nurlan Zhaksylykov Dana Mukasheva
		2	SUSTAINABLE BUSINESS MODELS AND GREEN ENTREPRENEURSHIP DEVELOPMENT IN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Yerlan Tursynbekov Aruzhan Kassen Madi Beketov
		3	SMALL AND MEDIUM ENTERPRISE GROWTH FACTORS IN TRANSITION ECONOMIES: THE CASE OF MOLDOVA	Prof. Dr. Victor Chirilov Ana Moraru Sergiu Balan
		4	THE ROLE OF CORPORATE GOVERNANCE IN ATTRACTING FOREIGN INVESTMENT IN MOLDOVAN COMPANIES	Dr. Ion Stratulat Elena Vicol Prof. Dr. Aigerim Saparova
		5	STRATEGIC HUMAN RESOURCE MANAGEMENT PRACTICES IN EGYPTIAN ORGANIZATIONS	Assoc. Prof. Dr. Ahmed El-Sharif
		6	MARKETING INNOVATION AND CONSUMER BEHAVIOR IN EGYPT'S DIGITAL ECONOMY	Dr. Salma Hussein Omar Naguib Nour El-Din Farouk Mona Abdelrahman Dr. Khaled Fathy
		7	SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION AND LOGISTICS MANAGEMENT IN EGYPTIAN INDUSTRIAL SECTORS	Prof. Dr. Mahmoud Zaki Hassan El-Gohary
		8		

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	Dr. Marija Ristovska	1	MACROECONOMIC INSTABILITY AND INFLATION DYNAMICS IN ZIMBABWEAN POST-DOLLARIZATION PERIOD	Prof. Dr. Tendai Muchengeti Dr. Rumbidzai Chari Kudakwashe Zhou
		2	FINANCIAL INCLUSION STRATEGIES AND MOBILE BANKING ADOPTION IN RURAL ZIMBABWE	Assoc. Prof. Dr. Nyasha Gwarada Tatenda Moyo
		3	FOREIGN DIRECT INVESTMENT FLOWS AND ECONOMIC GROWTH PATTERNS IN NORTH MACEDONIA	Dr. Elena Naumovska Prof. Dr. Aleksandar Petreski Ivan Trajanov
		4	LABOR MARKET TRANSFORMATIONS AND YOUTH UNEMPLOYMENT CHALLENGES IN MACEDONIAN ECONOMY	Dr. Marija Ristovska Stefan Nikolov
		5	TRADE LIBERALIZATION AND EXPORT DIVERSIFICATION IN THE TUNISIAN ECONOMY	Yassine Mejri Prof. Dr. Hatem Ben Salem Dr. Amel Gharani
		6	SMALL AND MEDIUM ENTERPRISE DEVELOPMENT AND ACCESS TO FINANCE IN TUNISIA	Assis. Prof. Dr. Salim Khlifi Nour Ben Youssef
		7	TOURISM-LED ECONOMIC DEVELOPMENT AND REGIONAL INCOME DISTRIBUTION IN GEORGIA	Dr. Giorgi Abashidze Nino Kvaratskhelia
		8	EXCHANGE RATE VOLATILITY AND ITS IMPACT ON FOREIGN TRADE IN GEORGIAN MARKETS	Nino Kvaratskhelia Dr. Tamar Shengelia Levan Mikeladze Ana Japaridze

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 13	Dr. Ioana Marinescu	1	EDUCATIONAL LEADERSHIP AND TEACHER DEVELOPMENT IN DIGITAL TRANSFORMATION ERA	Prof. Dr. Amira Ben Youssef Dr. Salma Khelifi Dr. Hichem Trabelsi Rim El Amri
		2	INCLUSIVE CLASSROOM PRACTICES AND STUDENT ENGAGEMENT IN HIGHER EDUCATION SETTINGS	Assoc. Prof. Dr. Nizar Ben Ali Dr. Marwa Jaziri
		3	ASSESSMENT REFORM AND COMPETENCY-BASED LEARNING IN ROMANIAN SECONDARY EDUCATION	Dr. Ioana Marinescu
		4	DIGITAL PEDAGOGY AND CURRICULUM INNOVATION IN ROMANIAN UNIVERSITIES	Prof. Dr. Mihai Ionescu Dr. Alina Dumitrescu Dr. Radu Georgescu
		5	ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS AND ACADEMIC INTEGRITY IN INDIAN HIGHER EDUCATION	Assis. Prof. Dr. Ananya Sharma Assoc. Prof. Dr. Vikram Mehta Dr. Neha Khanna
		6	PROJECT-BASED LEARNING AND STUDENT MOTIVATION IN INDIA'S RURAL SCHOOLS	Dr. Priya Nair Dr. Suresh Iyer Dr. Kavita Reddy
		7	EDUCATIONAL REFORM AND QUALITY ASSURANCE IN KAZAKHSTANI TEACHER TRAINING SYSTEMS	Dr. Aigerim Sadykova Assoc. Prof. Dr. Timur Zhandosov Dr. Aisulu Nurlan
		8	MULTILINGUAL EDUCATION AND LEARNING OUTCOMES IN KAZAKHSTAN	Dr. Marat Ospanov Dr. Gulnaz Karimova
		9	STEM COMPETENCY DEVELOPMENT AND FUTURE SKILLS IN KAZAKHSTANI SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Almas Zhumabayev Dr. Saule Tulegen Dr. Yerlan Aitbayev

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Doç. Dr. Nurkan YILMAZ	1	COMPARISON OF SOME MOTORIC CHARACTERISTICS OF YOUNG SOCCER PLAYERS ACCORDING TO PLAYING POSITIONS	Ayçe İdil KORKUT Dr. Öğr. Üyesi Ömer AKSOY
		2	FİZİKSEL AKTİVİTENİN UYKU BOZUKLUĞU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	Doç. Dr. Nurkan YILMAZ Seval YUMRUTEPE
		3	GEBELİKTE FİZİKSEL AKTİVİTENİN ANNE VE FETÜS SAĞLIĞINA ETKİLERİ	Seval YUMRUTEPE Doç. Dr. Nurkan YILMAZ
		4	THE IMPORTANCE OF PHYSICAL ACTIVITY IN THE PRESCHOOL PERIOD WITH INCREASED DIGITAL SCREEN USE: A REVIEW STUDY	Doç. Dr. Nurkan YILMAZ Sibel YAKUT Doç. Dr. Yahya DOĞAR
		5	THE EFFECT OF PHYSICAL ACTIVITY ON FINE MOTOR SKILLS OF INDIVIDUALS WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER	Sibel YAKUT Doç. Dr. Nurkan YILMAZ Doç. Dr. Yahya DOĞAR

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. HÜLYA KADIOĞLU	1	TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ İLE SEÇİLMİŞ UZAK DOĞU ÜLKELERİ MATEMATİK ÖĞRETİM PROGRAMLARININ VE KESİRLER ÖĞRENME ALANININ YAPISAL VE PEDAGOJİK AÇIDAN KARŞILAŞTIRILMASI	KEVSER BANU ACERCE Prof. Dr. HÜLYA KADIOĞLU
		2	THE EFFECTS OF NOISE POLLUTION IN THE SCHOOL ENVIRONMENT ON THE EDUCATIONAL PROCESS AND A TECHNOLOGY-BASED AWARENESS STUDY	Student, Zeynep Meva ÖNER Student, Şahin Baykuş
		3	VALUES EDUCATION AND INCLUSIVE LEARNING THROUGH CULTURAL MOTIFS	Student, Hazal ÇOLAK
		4	2020–2025 YILLARI ARASINDA TÜRKİYE’DE FEN EĞİTİMİ ALANINDA ARGÜMANTASYON ÜZERİNE GERÇEKLEŞTİRİLEN LİSANSÜSTÜ TEZLERİN AMAÇLARININ TEMATİK ANALİZİ	Dr. Caner ÇABUK
		5	ÖĞRENCİLERİN 7. SINIF RASYONEL SAYILAR KONUSUNDA KAVRAM YANILGILARININ TESPİT EDİLMESİ VE GİDERİLMESİ	Yasin Emre CAN Prof. Dr. Hülya KADIOĞLU
		6	EEG AND BEHAVIORAL INDICATORS OF EXECUTIVE CONTROL IN ADOLESCENTS: IMPLICATIONS FOR BEHAVIORAL ADDICTION RESEARCH	Dr. TUĞBA ULUSOY Prof. Dr. Selda BAKIR Prof. Dr. Seraceddin Levent ZORLUOĞLU

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Dr. Öğretim Üyesi, AYŞEGÜL ARACI İYİAYDIN	1	THE DEVELOPMENT OF AUTOBIOGRAPHICAL MEMORY STUDIES IN TÜRKİYE: A THEORETICAL, METHODOLOGICAL, AND THEMATIC JOURNEY	MA, Erdal KOZAN
		2	AN EXAMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SPIRITUAL WELL-BEING, ANXIETY, AND SLEEP QUALITY IN ADULTS	Tezli Yüksek Lisans Öğrencisi, ZOZAN EROĞLU
		3	SOCIAL MEDIA AND THE PERCEPTION OF PARENTING	Dr. Öğr. Üyesi Shanay Guliyeva Kabaoglu Gaye Kaş Tuğba İpek Yalçinkaya
		4	ROMANTİK İLİŞKİLERDE ALGILANAN SOSYAL DESTEĞİN ANKSİYETE VE DUYGU REGÜLASYONU ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, F. Dilara ÖZÇETİN Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kaan ÖZKAN
		5	YAKIN PARTNER ŞİDDETİNE MARUZ KALAN KADINLARIN İHTİYAÇLARI, SOSYAL DESTEK DENEYİMLERİ, ÇARESİZLİK VE UMUT ALGILARI: NİTEL BİR ÇALIŞMA	Gülin Kahya Çelikay
		6	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ İÇİN TOPLUMSAL CİNSİYET TUTUMLARI PSİKOEĞİTİM PROGRAMININ GELİŞTİRİLMESİ VE ETKİLİLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Kübra Emine EKERBİÇER Fatma Nur DEMİRCİ Zehra YİĞİT Arş. Gör. Mustafa Rahman ÖZDEN
		7	SAĞLIK ÇALIŞANLARINDA BİLİŞSEL REZERVİN PSİKOLOJİK SIKINTI İLE İLİŞKİSİ: BENLİK SAYGISININ DÜZENLEYİCİ ROLÜ	EDANUR KARADENİZ Dr. Öğr. Üyesi HANDE TASA
		8	TÜRKİYE'DE AKRAN ZORBALIĞINI ÖNLEME VE MÜDAHALE PROGRAMLARININ ETKİLİLİĞİ: KONTROL GRUPLU YARI DENEYSEL ÇALIŞMALARIN META-ANALİZİ	Dr. Öğretim Üyesi, AYŞEGÜL ARACI İYİAYDIN

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. Öğr. Üyesi HAKAN YILMAZ	1	TÜRK TOPLUMLARINDA VERGİ ANLAYIŞININ TARİHSEL KÖKENLERİ VE GELİŞİMİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, MASSUOD DANISHMAND
		2	TR-4 DOĞU MARMARA BÖLGESİ BİST ŞİRKETLERİNİN YATIRIMCI İLİŞKİLERİNDE STRATEJİK İLETİŞİM ARACI OLARAK 2024 DÖNEMİ YILLIK RAPORLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	Arş. Gör. Tuğba ÖZGİRAY Cenkhan KAHRAMAN Doktora Sonrası Araştırmacı Dr. Sema ÇAĞLAYAN
		3	AN ANALYSIS OF THE FINANCIAL ACTIVITIES OF COMPANIES IN THE BIST PRIMARY METAL INDUSTRY SECTOR	Dr. Öğr. Üyesi HAKAN YILMAZ
		4	HOW CROWD FUNDING CAN BE TAILORED TO MEET THE UNIQUE NEEDS OF GHANA'S ISLAMIC COMMUNITIES AND ADDRESS POVERTY EFFECTIVELY: A SECONDARY DATA ANALYSIS INTEGRATING GHANA STATISTICAL SERVICE DATA WITH ISLAMIC SOCIAL FINANCE THEORY	Ahmed Issah SULEIMAN Omer Faruk Tekdogan
		5	SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK RAPORLARI KAPSAMINDA KARBON EMİSYONLARININ ANALİZİ: BİST TEKSTİL VE DERİ ÜRÜNLERİ ENDEKSİ ÖRNEĞİ	Dr. ALPEREN MUSTAFA YİĞİT Doktora Öğrencisi ŞULE YILDIRIM
		6	ENDÜSTRİ 5.0 VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK PERSPEKTİFİ	Dr. ALPEREN MUSTAFA YİĞİT Doktora Öğrencisi ŞULE YILDIRIM
		7	A MUTUAL INFORMATION APPROACH TO DIGITAL ECONOMIC ATTENTION AND KNOWLEDGE-BASED MACROECONOMIC INTERDEPENDENCIES: THE CASES OF TURKEY AND THE USA	Arş.Gör.Dr. Tuğba ARPAZLI FAZLILAR

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Prof. Dr. Arslan Topakkaya	1	AN ANALYSIS OF THE PROBLEM OF MEANING IN HERMENEUTICS	Arş. Gör. ESRA HALICI Prof. Dr. ARSLAN TOPAKKAYA
		2	DECONSTRUCTION AT THE LIMITS OF INTERPRETATION: DERRIDA’S CRITIQUE OF THE HERMENEUTIC TRADITION	Arş. Gör. ESRA HALICI Prof. Dr. ARSLAN TOPAKKAYA
		3	HEİDEGGER FELSEFESİNDE DASEİN OLABİLMEİNİN İMKÂNI OLARAK DASEİN’DA KAYGI PROBLEMİ	Yüksek Lisans Öğrencisi BEYDA GÖKSEL Prof. Dr. ARSLAN TOPAKKAYA
		4	A LAYERED READING OF THE PHILOSOPHY OF NATURE IN ÂŞIK VEYSEL’S POEM “DALGIN DALGIN SEYREYLEDİM ÂLEMI	Güliden Dünder Arslan Topakkaya
		5	A PHILOSOPHICAL APPROACH TO NEŞET ERTAŞ’S FOLK SONG “AH YALAN DÜNYA”	Hayriye Karakaya Prof. Dr. Arslan Topakkaya

No: 5

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Ika MARYANI	1	DEVELOPMENT OF A DIAGNOSTIC FORMATIVE ASSESSMENT BASED ON SELF-DIRECTED LEARNING ORIENTED ASSESSMENT (SLOA) THROUGH THE ANALYSIS OF EPISTEMOLOGICAL OBSTACLES IN MATHEMATICS LEARNING	Asdini SARI Dian HIDAYATI
		2	DEVELOPMENT OF A CLIMATE CHANGE CONTEXT E-MODULE TO FOSTER THE MATHEMATICAL LITERACY OF PRE-SERVICE MATHEMATICS TEACHERS	Kamaliyah Suparman
		3	DEVELOPING AN INDUSTRY-ORIENTED VOCATIONAL ENGLISH LEARNING MODEL TO ENHANCE OCCUPATIONAL ENGLISH COMPETENCE OF ANALYTICAL CHEMISTRY STUDENTS	Dhina GÜLDEN Wresni Ikmi Nur OKTAVIANTI
		4	TEACHERS' PARTICIPATION IN TEACHER WORKING GROUPS: A PHENOMENOLOGICAL STUDY OF PROFESSIONAL LEARNING EXPERIENCES IN INDONESIAN PRIMARY SCHOOLS	Dinah INDRIANI Dwi SULISWORO
		5	LOCAL WISDOM-BASED RELIGIOUS MODERATION IN THE SINAR RESMI INDIGENOUS COMMUNITY OF CISOLOK DISTRICT, SUKABUMI REGENCY: CONCEPTUALIZATION, RECONSTRUCTION, AND CONTRIBUTIONS TO ISLAMIC RELIGIOUS EDUCATION	A.Euit KARMILA Hendro WIDODO
		6	CLIMATE INTEGRITY EDUCATION: DEVELOPING AN INTERDISCIPLINARY DOCUMENTARY PROJECT-BASED LEARNING MODEL FOR 21ST-CENTURY SCIENCE EDUCATION	Thitha Meista Mulya KUSUMA Ika MARYANI
		7	ENHANCING TEACHER PERFORMANCE THROUGH WORKPLACE SPIRITUALITY, INSTRUCTIONAL LEADERSHIP, AND TEACHER LEADERSHIP: THE MEDIATING ROLE OF LEARNING MANAGEMENT	Desilva Sindra JAVANIS Enung HASANAH
		8	DEVELOPING A CONCEPTUAL FRAMEWORK OF PEACE SELF-HELP FOR SEXUAL VIOLENCE SURVIVORS IN ISLAMIC BOARDING SCHOOLS	Siti Nurul Hajirotul Qudsiyah Sumaryati

No: 4

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
June 26 – 28, 2026				
RIZE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Haziran / June 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Assoc. Prof. Dr. Kavita Sharma	1	EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF NON-COMMUNICABLE DISEASES AND LIFESTYLE FACTORS IN URBAN UZBEKISTAN	Prof. Dr. Akmal Rakhimov Dilnoza Karimova Dr. Bekzod Tursunov
		2	MATERNAL AND CHILD HEALTH OUTCOMES IN RURAL UZBEK COMMUNITIES: ACCESS AND INTERVENTION STRATEGIES	Assoc. Prof. Dr. Gulbahor Saidova Shakhnoza Ergasheva
		3	IMPACT OF AIR POLLUTION ON RESPIRATORY HEALTH IN HIGH-DENSITY INDIAN CITIES	Dr. Rakesh Verma Anjali Deshpande Prof. Dr. Suresh Iyer
		4	NUTRITIONAL DEFICIENCIES AND THEIR EFFECT ON ADOLESCENT DEVELOPMENT IN RURAL INDIA	Assoc. Prof. Dr. Kavita Sharma Rahul Nair
		5	PREVALENCE OF INFECTIOUS DISEASES AND COMMUNITY HEALTH RESPONSES IN YEMENI URBAN AREAS	Prof. Dr. Ahmed Al-Hakimi Saeed Al-Mutairi Dr. Huda Al-Yemeni
		6	HEALTHCARE ACCESSIBILITY CHALLENGES IN CONFLICT-AFFECTED YEMENI REGIONS	Assis. Prof. Dr. Khaled Al-Sabri Mariam Al-Qadhi
		7	THE ROLE OF TELEMEDICINE IN IMPROVING PRIMARY HEALTHCARE DELIVERY IN YEMEN	Dr. Nasser Al-Hadhrani Fatima Al-Sharabi Yahya Al-Maqtari
		8	ASSESSMENT OF CARDIOVASCULAR DISEASE RISK FACTORS IN LIBYAN ADULT POPULATION	Prof. Dr. Omar Al-Fitouri Salma Bengehzi
		9	MENTAL HEALTH AWARENESS AND COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS IN POST-CONFLICT LIBYA	Assoc. Prof. Dr. Khaled Al-Misrati Aisha Zliten

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
June 26 – 28, 2026				
RIZE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Haziran / June 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assoc. Prof. Dr. Rustam Abdullaev	1	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL ORGANIC COMPOUNDS FOR PHARMACEUTICAL APPLICATIONS IN UZBEKISTAN	Malika Yusupova Prof. Dr. Bekzod Karimov Dr. Dilnoza Tashpulatova Javlon Ergashev
		2	CATALYTIC CONVERSION OF NATURAL GAS INTO VALUE-ADDED CHEMICALS IN UZBEK INDUSTRIAL PROCESSES	Assoc. Prof. Dr. Rustam Abdullaev
		3	GREEN SYNTHESIS OF NANOPARTICLES USING PLANT EXTRACTS IN INDIAN CHEMICAL RESEARCH	Dr. Ananya Chatterjee Rohit Sharma Prof. Dr. Vivek Menon
		4	ELECTROCHEMICAL STUDIES OF CORROSION INHIBITORS FOR INDUSTRIAL METALS IN INDIAN ENVIRONMENTS	. Dr. Kunal Verma Priya Nair
		5	ANALYSIS OF WATER POLLUTANTS AND CHEMICAL REMEDIATION METHODS IN YEMENI URBAN AREAS	Dr. Ahmed Al-Hakimi Noor Al-Haddad
		6	POLYMER-BASED MATERIALS FOR DESALINATION TECHNOLOGIES IN YEMEN	Dr. Saleh Al-Mutairi Huda Al-Qadhi
		7	INVESTIGATION OF BIOACTIVE NATURAL PRODUCTS FROM YEMENI MEDICINAL PLANTS	Assis. Prof. Dr. Khaled Al-Amri Samira Al-Yamani Dr. Tariq Al-Shami
		8	PETROCHEMICAL PROCESS OPTIMIZATION IN LIBYAN OIL REFINERIES USING ADVANCED CATALYSTS	Assis. Prof. Dr. Mahmoud Al-Farjani Salem Al-Gharyani
		9	ENVIRONMENTAL CHEMISTRY APPROACHES FOR AIR POLLUTION CONTROL IN LIBYAN CITIES	Dr. Aisha Ben Salem Omar Al-Zawi

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
June 26 – 28, 2026				
RIZE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Haziran / June 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Andrei Cojocaru	1	ADVANCED LOW-POWER MICROCONTROLLER DESIGN FOR EMBEDDED SYSTEMS IN MOLDOVAN SMART DEVICES	Dr. Andrei Cojocaru Diana Munteanu
		2	WIRELESS COMMUNICATION MODULE OPTIMIZATION FOR IOT APPLICATIONS IN MOLDOVA	Prof. Dr. Ion Brinza Elena Cebotari Victor Rusu
		3	DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT CMOS CIRCUITS IN BANGLADESHI ELECTRONICS INDUSTRY	Dr. Rahman Siddique Farhana Islam Mahmudul Hasan Prof. Dr. Kamal Uddin
		4	DEVELOPMENT OF SMART ANTENNA SYSTEMS FOR 5G NETWORKS IN BANGLADESH	Assoc. Prof. Dr. Nusrat Jahan Tariq Mahmud
		5	FAULT-TOLERANT CONTROL SYSTEMS IN INDUSTRIAL ELECTRONICS APPLICATIONS IN ALGERIA	Samira Benali Yacine Meziane Prof. Dr. Karim Ould Ahmed
		6	DESIGN OF EMBEDDED SYSTEMS FOR SOLAR ENERGY MANAGEMENT IN ALGERIAN DESERT REGIONS	Dr. Rachid Bensouilah Amel Zerhouni
		7	APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN ELECTRONIC SIGNAL PROCESSING SYSTEMS IN ALGERIA	Dr. Nabil Khelifi Youssef Boukhalfa Dr. Lina Haddadi
		8	FPGA-BASED DIGITAL SYSTEM DESIGN FOR TELECOMMUNICATION APPLICATIONS IN UKRAINE	Prof. Dr. Oleksandr Kovalenko Iryna Shevchenko
		9	POWER ELECTRONICS AND SMART GRID INTEGRATION TECHNOLOGIES IN UKRAINIAN ENERGY SYSTEMS	Dr. Dmytro Hrytsenko Assoc. Prof. Dr. Olha Bondarenko Taras Melnyk

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
June 26 – 28, 2026				
RIZE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Haziran / June 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Dr. Oleksandr Shevchenko	1	SUSTAINABLE VITICULTURE PRACTICES AND SOIL FERTILITY MANAGEMENT IN MOLDOVAN AGRICULTURAL SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Elena Rotaru Sergiu Munteanu
		2	CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES FOR CROP PRODUCTION IN MOLDOVA'S RURAL AREAS	Prof. Dr. Ion Luca Maria Ceban Andrei Vicol
		3	RICE PRODUCTION OPTIMIZATION THROUGH PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES IN BANGLADESH	Dr. Rahman Siddique Farzana Akter Mahmudul Hasan Tariq Islam
		4	SALINITY MANAGEMENT AND ITS IMPACT ON AGRICULTURAL PRODUCTIVITY IN COASTAL BANGLADESH	Dr. Kamal Uddin Nusrat Jahan
		5	DESERT AGRICULTURE INNOVATIONS FOR WATER-EFFICIENT CROP CULTIVATION IN ALGERIA	Dr. Ahmed Benali Samira Toumi Yacine Boudiaf
		6	AGROFORESTRY SYSTEMS AND BIODIVERSITY CONSERVATION IN NORTHERN ALGERIAN REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Karim Belhadi Lina Cherif Nadir Meziane Salima Ould
		7	SOIL EROSION CONTROL METHODS AND THEIR EFFECTIVENESS IN ALGERIAN HIGHLAND FARMING	Assis. Prof. Dr. Mourad Ziani Amina Ferhat
		8	PRECISION FARMING TECHNOLOGIES FOR WHEAT PRODUCTION IN UKRAINIAN AGRICULTURAL ENTERPRISES	Dr. Oleksandr Shevchenko Iryna Kovalenko Mykola Bondar

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
June 26 – 28, 2026				
RIZE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Haziran / June 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Dr. Ana Marinescu	1	EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ON ZOO NOTIC DISEASES IN LIVESTOCK POPULATIONS IN RURAL ROMANIA	Dr. Ana Marinescu
		2	ADVANCES IN VETERINARY VACCINATION STRATEGIES FOR CATTLE HEALTH MANAGEMENT IN ROMANIAN FARMS	Dr. Sorin Georgescu Prof. Dr. Andrei Popa Dr. Elena Ionescu Mihai Dumitrescu
		3	PARASITOLOGICAL ANALYSIS OF SHEEP AND GOAT DISEASES IN MOROCCAN AGRICULTURAL SYSTEMS	Dr. Youssef El Idrissi Fatima Zahra Bennani Khalid Amrani
		4	VETERINARY PUBLIC HEALTH APPROACHES TO CONTROL RABIES IN NORTH AFRICAN URBAN AREAS	Dr. Hassan Alaoui Nadia El Fassi
		5	MOLECULAR DIAGNOSIS OF AVIAN INFLUENZA VIRUSES IN EGYPTIAN POULTRY FARMS	Dr. Mahmoud Abdelrahman Salma Hassan Prof. Dr. Tarek El-Sayed
		6	NUTRITIONAL MANAGEMENT AND GROWTH PERFORMANCE IN CAMELS UNDER ARID EGYPTIAN CONDITIONS	Assoc. Prof. Dr. Hany Farouk Omar Khalifa Mona Fathy
		7	ANTIMICROBIAL RESISTANCE PATTERNS IN DAIRY CATTLE PATHOGENS IN EGYPT	Dr. Rania Mostafa Ahmed Nabil Assis. Prof. Dr. Kareem Adel
		8	DIAGNOSTIC IMAGING TECHNIQUES IN SMALL ANIMAL VETERINARY PRACTICE IN UKRAINE	Prof. Dr. Oleksandr Shevchenko Iryna Kovalenko Olha Tkachenko
		9	REPRODUCTIVE HEALTH MANAGEMENT IN HORSES IN UKRAINIAN EQUINE CLINICS	Dr. Natalia Bondarenko Andrii Melnyk

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Haziran / June 26, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	Dr. Natalia Bondarenko	1	SUSTAINABLE URBAN REGENERATION STRATEGIES IN POST-COMMUNIST ROMANIAN CITIES	Assoc. Prof. Dr. Ahmed El-Sherif Mona Hassan Karim Abdelrahman
		2	ADAPTIVE REUSE OF INDUSTRIAL HERITAGE BUILDINGS IN BUCHAREST METROPOLITAN AREA	Dr. Youssef El Amrani Fatima Zahra El Idrissi Hassan Benali Nadia Tazi
		3	TRADITIONAL MOROCCAN COURTYARD ARCHITECTURE AND ITS CLIMATE-RESPONSIVE DESIGN PRINCIPLES	Prof. Dr. Khalid Bouhaddou Samira Lahlou
		4	URBAN MORPHOLOGY AND INFORMAL SETTLEMENT DEVELOPMENT IN CASABLANCA PERIPHERIES	Assoc. Prof. Dr. Cristina Marinescu Radu Georgescu
		5	PASSIVE COOLING TECHNIQUES IN VERNACULAR EGYPTIAN DESERT ARCHITECTURE	Prof. Dr. Andrei Popa Elena Ionescu Mihai Dumitrescu
		6	SMART CITY IMPLEMENTATION AND HERITAGE CONSERVATION IN HISTORIC CAIRO DISTRICTS	Dr. Laila Naguib Youssef Hamdy Nour El-Din Farouk
		7	WATERFRONT URBAN DESIGN AND RESILIENCE STRATEGIES ALONG THE NILE RIVER IN EGYPT	Prof. Dr. Mahmoud El-Gohary Salma Fathy
		8	POST-WAR RECONSTRUCTION AND URBAN IDENTITY IN UKRAINIAN CITIES	Dr. Natalia Bondarenko Andrii Melnyk
		9	ENERGY-EFFICIENT RESIDENTIAL BUILDING DESIGN IN COLD CLIMATE REGIONS OF UKRAINE	Dr. Oleksandr Kovalenko Iryna Shevchenko Dmytro Hrytsenko

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Öğr. Üyesi OĞUZ USTA	1	YEREL SİYASETE KATILIMIN MEKÂNSAL DİNAMİKLERİ: KASTAMONU ÖRNEĞİNDE YEREL YÖNETİCİ ADAYI KADINLARIN KARŞILAŞTIKLARI ENGELLER	ELİF NUR ŞENLİK Doç. Dr. ERAY AKTEPE
		2	SİYASİ PARTİ GENÇLİK KOLLARINDA KADIN TEMSİLİ: RİZE ÖRNEĞİ	Sümeyye ÇELİK Elif ALTINBAŞ Doç. Dr. Erol SUBAŞI
		3	HESAP VEREBİLİRLİK KAVRAMI ÇERÇEVESİNDE SAYIŞTAY DENETİM BULGULARININ NİTELİKSEL TASNİFİ: KONYA BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ÖRNEĞİ	Bilim Uzmanı SEMİHA BOZ Prof. Dr. ERHAN GÜMÜŞ
		4	THE CONDITIONS OF THE ACTION FOR PARTITION OF INHERITANCE	Assistant Professor Dr., Harun Mirsad GÜNDAY Master's Student, Tuğçe YILMAZ
		5	CEZA MUHAKEMESİNDE DAVAYA KATILANIN ÖLMESİ HALİNDE MİRASÇILARIN DURUMU	Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin ERTUĞRUL OZAN MERT KILIÇ
		6	ROMA HUKUKUNDAN GÜNÜMÜZE “-İLE SORUMLULUK (KONUSUNA GÖRE SORUMLULUK)” KAVRAMI	Dr. Öğr. Üyesi OĞUZ USTA

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
June 26 – 28, 2026				
RIZE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Haziran / June 27, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assist. Prof. Dr. Yıldırım ÇEVİK	1	7.SINIF ÖĞRENCİLERİNDE ORAN-ORANTI KONUSUNDAKİ KAVRAM YANILGILARININ TESPİT EDİLMESİ VE GİDERİLMESİ	Gülizar ŞEKERCİ Prof.Dr.Hülya KADIOĞLU
		2	2015 YILI VE SONRASINDA YAYINLANAN MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞINA BAĞLI EĞİTİM KURUMLARINA YÖNETİCİ SEÇME VE GÖREVLENDİRME YÖNETMELİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI	Selman YILMAZ
		3	OKUL MÜDÜRLERİNİN OKUL YÖNETİMİNDE YAPAY ZEKÂ KULLANIMINA YÖNELİK GÖRÜŞLERİ	Arife KOÇKANAT
		4	OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMENLERİN MATEMATİK EĞİTİMİNDE KULLANDIKLARI RESİMLİ ÖYKÜ KİTAPLARINDAKİ METİN DIŞI ÖĞELERİN KULLANIMIN İNCELENMESİ	Öğretmen Buse YILMAZ Doç. Dr. Mustafa AKINCI
		5	7. SINIF FEN BİLİMLERİ DERSİNDE KUVVET VE ENERJİ ÜNİTESİNİN ÖĞRENİLMESİNE YÖNELİK ÖĞRENCİ İHTİYAÇLARI	Doç. Dr. Hakan TURAN İrem AKDEMİR ESGİL
		6	TEACHING FIRST READING AND WRITING IN THE TURKIYE CENTURY EDUCATION MODEL: TEACHERS' VIEWS	Teacher, HARUN ATEŞ Associate Professor, YAHYA HAN ERBAŞ
		7	16TH CENTURY AN ORIGINAL VOICE IN OTTOMAN POETRY	Gülsüm Yaren CEYLAN
		8	CAPITALISM, CLASS DIVISION, AND HUMAN ALIENATION IN H. G. WELLS' THE TIME MACHINE: A MARXIST READING	Assist. Prof. Dr. Yıldırım ÇEVİK

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Dr. Cihan KARA	1	THE IMPACT OF ORGANIZATIONAL CHANGE ON THE PERCEPTION OF ORGANIZATIONAL JUSTICE	Dr. Cihan KARA
		2	THE IMPACT OF SUSTAINABLE LEADERSHIP ON GREEN ORGANIZATIONAL CITIZENSHIP BEHAVIOR	Dr. Cihan KARA
		3	THE MEDIATING ROLE OF ORGANIZATIONAL TRUST IN THE EFFECT OF HEALTH PROFESSIONALS' ENTREPRENEURIAL PERSONALITY TRAITS ON THEIR WHISTLEBLOWING TENDENCIES	PhD Student, Buşra KÖSE Assoc. Prof. Dr. Fuat YALMAN
		4	THE MEDIATING ROLE OF ORGANIZATIONAL JUSTICE IN THE EFFECT OF HEALTH PROFESSIONALS' ENTREPRENEURIAL PERSONALITY TRAITS ON THEIR WHISTLEBLOWING TENDENCIES	PhD Student, Buşra KÖSE Assoc. Prof. Dr. Fuat YALMAN
		5	THE IMPACT OF EMOTIONAL INTELLIGENCE ON EMPLOYEE SILENCE: THE MODERATING ROLE OF ORGANIZATIONAL CULTURE IN A COMPARATIVE STUDY OF IRAN AND TÜRKİYE	Nooshin Zamaniyan
		6	THE IMPACT OF TRANSFORMATIONAL LEADERSHIP ON JOB EMBEDDEDNESS: A STUDY OF BANK EMPLOYEES	PhD Student, HALİME KARA Prof. Dr., RIFAT İRAZ
		7	ÖRGÜTSEL ÖZDEŞLEŞMENİN İŞ TATMİNİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: BANKACILIK SEKTÖRÜ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Muhammed İkbāl BALKİS Doç. Dr., Canan YILDIRAN
		8	THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE LITERACY ON ONLINE BANKING	ELVAN MUTLU Doç. Dr. ÜMRAN ŞENGÜL

No: 4

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
June 26 – 28, 2026 RIZE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Haziran / June 27, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Öğr.Gör. MERVE YAMAN	1	EMPLOYEE RESILIENCE DURING CRISES: A CONCEPTUAL EVALUATION IN THE CONTEXT OF LOCAL GOVERNMENTS	Yüksek Lisans Öğrencisi, Halil POLAT
		2	Z KUŞAĞININ SOSYAL MEDYA VE TÜRKÇE RAP MÜZİĞE YÖNELİK ALGILARININ DAVRANIŞSAL ÇIKTILARININ İNCELENMESİ	YILDIZ GÜVEN DR. SEFA CEYHAN
		3	THE IMPACT OF JOB INSECURITY ON EMPLOYEES' TURNOVER INTENTION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY: THE MODERATING ROLE OF EXCESSIVE FATIGUE	SELEN ERDAL Assoc. Prof. Dr. ÜMRAN ŞENGÜL
		4	PERCEIVED FAKE ENGAGEMENT IN INFLUENCER-NGO COLLABORATIONS: EFFECTS ON TRUST AND DONATION INTENTION	MBA Student, Bora KIRCALLI Assistant Professor, Sendi ÇAĞLIYOR
		5	KÜRESEL HAVAYOLU İŞLETMELERİNDE GÖRSEL KİMLİK VE İÇERİK YÖNETİMİ: THY VE LUFTHANSA DİJİTAL MARKA ESTETİĞİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ	Öğr.Gör. MERVE YAMAN
		6	YÖNETİM KURULU YAPISI AR-GE YATIRIMLARINI ETKİLER Mİ? BORSA İSTANBUL'DAN KANITLAR	YÜKSEK LİSANS ÖĞRENCİSİ BÜŞRA CEVRİYE DOĞAN Doç. Dr. KADİR TUTKAVUL
		7	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE CONSUMER ETHNOCENTRISM AND CONSUMER ANIMOSITY LITERATURE: RESEARCH TRENDS AND FUTURE DIRECTIONS	Öğr. Gör. Dr. Gamze ULUDAĞ Doç. Dr. Emel FAİZ
		8	USE OF SOCIAL MEDIA IN HOUSING MARKETING AND SPATIAL VALUE DISCOURSES: THE CASE OF ÇANAKKALE	Urban Planner, Dilara YENTÜRK Asst. Prof. Dr. Ayşe Nur ALBAYRAK
		9	TRANSFORMING THE PERCEPTION OF SECOND-HAND PRODUCT IN TEXTILE WASTE RECYCLING: A CIRCULAR ECONOMY-BASED APPLICATION	Doktora Adayı, ZEYNEP KAPTAN Dr. Öğr. Üyesi, ONUR ÖZEVİN Öğr. Üyesi, ZEYNEP TUBA BALCIOĞLU Öğr. Üyesi, HATİCE HOROZ
		10	THE IMPACT OF PROFESSIONAL IDENTITY THREAT ON PHYSICIANS	Ms, Mehmet Eymen SÜMER

No: 5

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
June 26 – 28, 2026				
RIZE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Haziran / June 27, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Doç. Dr., Ataollah KHANLARI	1	THE EFFECT OF PERIODIC ADDITION OF SELENOUREA ON PBSE THIN FILMS PRODUCED BY CHEMICAL BATH DEPOSITION METHOD	Dr.Metehan ÖNAL
		2	NUMERICAL ANALYSIS OF THE HEATING PERFORMANCE OF WALL TYPE SOLAR CHIMNEYS IN CLOSED SPACES	Harun SEN Doç. Dr. Erdem CUCU Prof. Dr. Pinar MERT CUCU
		3	PERFORMANCE ANALYSIS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM INTEGRATED HYBRID SOLAR CHIMNEY POWER PLANTS	Harun SEN Doç. Dr. Erdem CUCU Prof. Dr. Pinar MERT CUCU
		4	DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN AL-ZN-MG ALAŞIMLARINDA MAGNEZYUM ORANININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ	ŞEREF BOYRAZ Dr. Öğr. Üyesi NACİ ARDA TANIŞ Prof. Dr. RECEP ÇALIN
		5	TEK-TEK ÇEKİRDEKLERDE MANYETİK DİPOL MOMENTLERİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİYLE MODEL İNCELENMELERİ	Ahmet Kemal ACAR Prof.Dr. Hakan YAKUT Dr. Elif KEMAH
		6	INVESTIGATING THE EFFECT OF COLD SIDE INLET MODIFICATION ON THE OVERALL BEHAVIOR OF A SHELL AND HELICALLY COILED HEAT EXCHANGER: A NUMERICAL STUDY	Doç. Dr., Ataollah KHANLARI

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Asst. Prof. Dr. Erol KINA	1	CT IMAGE-BASED LUNG CANCER CLASSIFICATION USING HOG FEATURES AND MACHINE LEARNING MODEL	Asst. Prof. Dr. Erol KINA
		2	COMPARATIVE ANALYSIS OF FREQUENT PATTERN MINING ALGORITHMS ACROSS TWO LIBRARIES: APRIORI, FP-GROWTH AND ECLAT ON SPMF AND PAMI	Baki KOÇ Prof. Dr. Turgay Tugay BİLGİN
		3	PREDICTION OF HYPERTENSION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS BASED ON COMPLETE BLOOD ANALYSIS DATA IN HYPERTENSIVE PATIENTS AND HEALTHY INDIVIDUALS	Hakan Burak Ahmetoğlu Prof. Dr. İlhami GÖK Öğr. Gör. Dr. Mahmut AYDIN
		4	SİBER GÜVENLİKTE SOSYAL MÜHENDİSLİK SALDIRILARI ve KORUNMA YÖNTEMLERİ	Dr. CİHAN ÜNAL

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Assoc. Prof. Dr. Aleksandar Petrov	1	DIGITAL TRANSFORMATION AND DATA-DRIVEN DECISION MAKING IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES	Prof. Dr. Wei-Han Lin Assoc. Prof. Dr. Chia-Yu Chen Ming-Jen Hsu
		2	SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN INTEGRATION AND RESILIENCE STRATEGIES IN GLOBAL BUSINESS ENVIRONMENTS	Dr. Yu-Ting Wang Prof. Dr. Po-Chun Li Hui-En Tsai
		3	DIGITAL ENTREPRENEURSHIP, INNOVATION ECOSYSTEMS, AND MARKET ADAPTATION IN EMERGING ECONOMIES	Assoc. Prof. Dr. Elena Markoska Dr. Nikola Stojanov Petar Velkov
		4	CORPORATE GOVERNANCE PRACTICES AND FINANCIAL PERFORMANCE IN FAMILY-OWNED BUSINESSES	Prof. Dr. Marina K. Dimitrova Assoc. Prof. Dr. Aleksandar Petrov Dr. Stefan Trajkov
		5	CUSTOMER EXPERIENCE MANAGEMENT AND BRAND LOYALTY IN THE DIGITAL RETAIL SECTOR	Prof. Dr. Ananya Iyer Dr. Rohan Menon Dr. Priya Nair Kavya Sharma
		6	STRATEGIC LEADERSHIP, ORGANIZATIONAL RESILIENCE, AND POST-CRISIS BUSINESS RECOVERY MODELS	Assoc. Prof. Dr. Arjun Mehra Prof. Dr. Neha Kulkarni Vikram Joshi
		7	SUSTAINABILITY REPORTING, ESG DISCLOSURE, AND LONG-TERM VALUE CREATION IN CORPORATE SECTORS	Prof. Dr. Amira Ben Salem Assoc. Prof. Dr. Sami Khelifi Dr. Yasmine Trabelsi Nour Chaker

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assoc. Prof. Dr. Nitin Kulkarni	1	MACROECONOMIC RESILIENCE AND INFLATION MANAGEMENT IN POST-PANDEMIC TAIWAN	Prof. Dr. Wei-Hao Lin Dr. Meng-Ting Chen Dr. Yu-Chen Huang Dr. Hsin-Yu Kuo
		2	DIGITAL TRANSFORMATION, TRADE ADAPTATION, AND SMALL BUSINESS SURVIVAL IN TAIWAN'S URBAN ECONOMY	Assoc. Prof. Dr. Chia-Ling Tsai Dr. Po-Han Wu
		3	PUBLIC DEBT SUSTAINABILITY AND FISCAL REFORM PATHWAYS IN NORTH MACEDONIA	Dr. Elena Stojanova Dr. Nikola Petrov Dr. Marija Ivanova Assoc. Prof. Dr. Stefan Dimitrov
		4	LABOR MARKET FLEXIBILITY, YOUTH EMPLOYMENT, AND REGIONAL GROWTH IN NORTH MACEDONIA	Dr. Ana Trajkovska
		5	INCLUSIVE FINANCE, RURAL CREDIT ACCESS, AND ENTREPRENEURSHIP GROWTH IN INDIA	Prof. Dr. Rajesh Varma Dr. Ananya Deshmukh Dr. Kavita Iyer
		6	SUSTAINABLE INDUSTRIAL POLICY AND EXPORT COMPETITIVENESS IN INDIA'S EMERGING ECONOMY	Assoc. Prof. Dr. Nitin Kulkarni
		7	ENERGY PRICE SHOCKS, HOUSEHOLD WELFARE, AND FOOD SECURITY IN TUNISIA	Prof. Dr. Salma Ben Ali Dr. Youssef Khelifi Dr. Mariem Trabelsi
		8	TOURISM RECOVERY, MACROECONOMIC STABILITY, AND REGIONAL DEVELOPMENT IN TUNISIA	Assoc. Prof. Dr. Hichem Bouazizi Dr. Noura Slim Dr. Firas Ferchichi
		9	GREEN FINANCE, PUBLIC INVESTMENT, AND LONG-TERM GROWTH DYNAMICS IN TUNISIA	Dr. Amira Jaziri Dr. Mehdi Ouerfelli Dr. Lina Karray

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Assis. Prof. Dr. Desta Tadesse	1	THE TRANSFORMATION OF SAFAVID COURT POLITICS AND IMPERIAL IDEOLOGY IN EARLY MODERN IRAN	Prof. Dr. Arman Khosravi Soraya Javad Nima Farrokhzad
		2	BORDERLAND DIPLOMACY AND THE RED SEA ROUTES IN OTTOMAN-EGYPTIAN RELATIONS, 1517–1805	Assoc. Prof. Dr. Leila Hassan Mariam Abdel-Rahman Youssef El-Sayed
		3	URBAN MEMORY, NATIONALISM, AND ARCHAEOLOGICAL PRACTICE IN MODERN EGYPTIAN HISTORIOGRAPHY	Assoc. Prof. Dr. Omar El-Masry Dalia Fahmy Dr. Karim Naguib
		4	THE POLITICAL ECONOMY OF THE NILE VALLEY: TAXATION, LAND, AND POWER IN OTTOMAN EGYPT	Assoc. Prof. Dr. Hoda Abdallah Tarek Soliman Mona Ibrahim Dr. Salma Hassan
		5	CHRONICLES OF KINGDOMS: ORAL TRADITION AND STATE FORMATION IN ETHIOPIAN HISTORICAL NARRATIVES	Assis. Prof. Dr. Desta Tadesse
		6	MONASTIC NETWORKS, TRADE CORRIDORS, AND RELIGIOUS AUTHORITY IN ETHIOPIAN HIGH-PLATEAU HISTORY	Assoc. Prof. Dr. Meron Kidane Sisay Fikru Dr. Yared Amanuel Hana Wolde
		7	COASTAL SULTANATES, SWAHILI CHRONICLES, AND INDIAN OCEAN CONNECTIVITY IN TANZANIAN HISTORY	Juma Salum Neema Mussa Ibrahim Hamisi
		8	COLONIAL ENCOUNTERS, RESISTANCE, AND STATE FORMATION IN TANZANIA'S MODERN HISTORICAL MEMORY	Assoc. Prof. Dr. Said Khamis Rehema Ally Abdallah Omar Zainab Said
		9		

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Assoc. Prof. Dr. Tesfaye Belay	1	THE ROLE OF EARLY ATTACHMENT PATTERNS IN SHAPING ADOLESCENT EMOTIONAL REGULATION AND INTERPERSONAL TRUST	Prof. Dr. Samira El-Hadi Dr. Youssef Benali Dr. Nadia Ait Karim Assoc. Prof. Dr. Rania Boussif
		2	COGNITIVE FLEXIBILITY, ACADEMIC STRESS, AND COPING STRATEGIES AMONG UNIVERSITY STUDENTS DURING TRANSITIONAL PERIODS	Dr. Karim El Mansouri
		3	EMOTION PROCESSING, SOCIAL SUPPORT, AND RESILIENCE TRAJECTORIES IN POST-CONFLICT YOUTH POPULATIONS	Mekdes Gebre Assoc. Prof. Dr. Tesfaye Belay Dr. Hana Woldemariam
		4	MINDFULNESS-BASED INTERVENTIONS AND THEIR IMPACT ON ACADEMIC PROCRASTINATION AND SELF-REGULATION	Prof. Dr. Laura Ciobanu Dr. Ilie Rusu Dr. Ana Maria Popescu
		5	TRAUMA, IDENTITY FORMATION, AND PSYCHOLOGICAL WELL-BEING IN MIGRANT ADOLESCENTS	Prof. Dr. Amina Salim Assoc. Prof. Dr. Dawit Kassa Dr. Selamawit Ayele
		6	THE INTERPLAY BETWEEN PERFECTIONISM, ANXIETY, AND ACHIEVEMENT MOTIVATION IN HIGH-ACHIEVING STUDENTS	Prof. Dr. Elvin Mammadov Dr. Nigar Huseynova Dr. Kamran Aliyev
		7	SOCIAL COMPARISON, SELF-ESTEEM, AND DIGITAL WELL-BEING IN CONTEMPORARY ADOLESCENTS	Assoc. Prof. Dr. Leyla Rahimova Dr. Tural Hasanov Dr. Aysel Mehdiyeva
		8	EXECUTIVE FUNCTIONS, DECISION-MAKING, AND IMPULSE CONTROL IN EARLY ADULTHOOD	Prof. Dr. Orkhan Karimli Dr. Narmin Jafarova Dr. Rufat Ibrahimov
		9	PSYCHOLOGICAL CAPITAL, HOPE, AND WORKPLACE ADAPTATION AMONG YOUNG ADULT EMPLOYEES	Assoc. Prof. Dr. Farida Mammadli Teymur Hasanli Dr. Gulnara Aliyeva

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Dr. Suresh Chandrasekhar	1	APPLICATION OF AUTOMORPHISM GROUPS IN GRAPH THEORY AND THEIR IMPLICATIONS FOR NETWORK STRUCTURES	Assis. Prof. Dr. Aram Karapetyan
		2	RECENT ADVANCES IN PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS: ANALYSIS AND COMPUTATION	Dr. Narine Melikyan
		3	ASYMPTOTIC ANALYSIS OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS IN PHYSICAL MODELLING	Dr. Lilit Harutyunyan Prof. Dr. Vahan Manukyan
		4	RECENT METHODS IN ALGEBRAIC NUMBER THEORY: APPLICATIONS TO CRYPTOGRAPHY	Prof. Dr. Priya Deshpande Dr. Nikhil Raman Prof. Dr. Anjali R. Mehta
		5	ADVANCES IN MACHINE LEARNING APPROACHES FOR MATHEMATICAL OPTIMIZATION	Dr. Suresh Chandrasekhar
		6	MODELING SPATIOTEMPORAL PHENOMENA WITH PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN ENVIRONMENTAL SCIENCES	Prof. Dr. Avinash Kumar Dr. Sneha Patil Assis. Prof. Dr. Kartik Sharma Dr. Deepak Joshi
		7	STABILITY AND SPECTRAL ANALYSIS OF NONLINEAR OPERATORS IN FUNCTION SPACES	Dr. Aisha Al-Harthy Assis. Prof. Dr. Ahmed Salim
		8	FUZZY LOGIC SYSTEMS AND THEIR APPLICATION IN UNCERTAIN REAL-WORLD DATA MODELLING	Assoc. Prof. Dr. Waleed Al-Lamki Dr. Sara Al-Rawahi
		9	SYMMETRY ANALYSIS IN SOLVING COMPLEX SYSTEMS OF NONLINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS	Dr. Saud Al-Busaidi Assis. Prof. Dr. Maha Al-Kharusi

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
June 26 – 28, 2026				
RIZE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
27 Haziran / June 27, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	Prof. Dr. Arman Hakobyan Assis. Prof. Dr. Lilit Grigoryan	1	INNOVATIVE STRATEGIES IN THE SEISMIC DESIGN OF URBAN INFRASTRUCTURE IN YEREVAN	Prof. Dr. Arman Hakobyan Assis. Prof. Dr. Lilit Grigoryan
		2	DEVELOPMENT OF ECO-FRIENDLY CONCRETE COMPOSITES WITH LOCALLY SOURCED MATERIALS	Prof. Dr. Arman Hakobyan Dr. Ani Babayan Prof. Dr. Gevorg Arakelyan Assis. Prof. Dr. Sargis Hunanyan
		3	INTELLIGENT FLOOD MANAGEMENT SYSTEMS FOR URBAN CENTERS IN LAHORE	Prof. Dr. Ahmad Ali Assis. Prof. Dr. Maryam Raza Muhammad Ayub
		4	ADVANCED OPTIMIZATION OF WIND ENERGY INFRASTRUCTURE IN COASTAL PAKISTAN	Dr. Samina Hassan Prof. Dr. Tariq Mahmood Assis. Prof. Dr. Waleed Akhtar
		5	APPLICATION OF NANOMATERIALS IN WATER PURIFICATION SYSTEMS FOR KARACHI	Dr. Hina Qureshi Prof. Dr. Faisal Ahmed Assis. Prof. Dr. Usman Khan
		6	SUSTAINABLE DESIGN OF EMBANKMENT DAMS UNDER ARID CLIMATE CONDITIONS	Dr. Salim Al-Harthy Prof. Dr. Fahad Al-Shidhani
		7	PERFORMANCE EVALUATION OF SMART TRAFFIC MANAGEMENT TECHNOLOGIES IN MUSCAT	Assis. Prof. Dr. Aisha Al-Balushi Dr. Sami Alkindi
		8	DEVELOPING SOLAR-POWERED MICROGRID SOLUTIONS FOR REMOTE COMMUNITIES IN OMAN	Prof. Dr. Hamood Al-Rawahi Dr. Nasser Al-Saadi

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Öğr. Üyesi, İshak KÜÇÜKYILDIZ	1	MERCY AND FORGIVENESS IN URARTIAN INSCRIPTIONS: AN ASSESSMENT IN THE CONTEXT OF TRIBUTE, LOYALTY, AND POLITICAL SOVEREIGNTY	Dr. Öğr. Üyesi, İshak KÜÇÜKYILDIZ
		2	REVİLLING AND BESEYING VASİR BİLKADİR ABDÜLHAMİD II'S HEJAZ RAILWAY PROJECT WITH SOFT POWER	Lect, Murat Gökmen M.A. Graduate, Seda Gökmen
		3	MILITARY REFORMS AND THE THEMATIC SYSTEM DURING THE REIGN OF ALEXIOS I KOMNENOS	Master's Student ZÜBEYDE ÇİFÇİ
		4	THE ROLE OF THE NAPOLEONIC WARS IN THE CONSTRUCTION OF RUSSIAN NATIONALISM AND EUROSCEPTICISM	Alper PALA Doç. Dr. Filiz ÇOBAN ORAN
		5	HOCA SAADEDDİN MÜNŞEATINDA BULUNAN MEKTUPLARDA; ŞEHZADE BAYEZİD'İN OSMANLIYA TESLİMİNE GİDEN SÜREÇ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Yusuf Tahir Yetimoğlu
		6	THE ROLE OF KASTAMONU IN THE OTTOMAN COMMUNICATION AND POSTAL SYSTEM IN THE SECOND HALF OF THE 18TH CENTURY	Dr. FATİME YAZICI
		7	TÜRKİYE'DE DIŞ ETKİLERLE YÜKSELTİLEN BÜROKRATLAR, AYDINLAR VE SİVİL TOPLUM KURULUŞLARI (1923-1980): AMERİKAN ETKİSİNİN KURUMSAL VE TOPLUMSAL YANSIMALARI	Zeynep Ertürk
		8	KİRAAT İLMİNİN KAYNAKLARI VE İBN MÜCÂHİD'DEN İBNÜ'L-CEZERİ'YE GELİŞİM SÜRECİ	Dr. Ali TURAN

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr, Muhammet Emin Sözkese	1	GOVERNING THE RENTAL QUESTION: STATE INSTITUTIONS, HOUSING CRISIS AND URBAN POLITICS IN TURKEY	Havva Ezgi Doğru Zırğ
		2	Comparing Migration Governance in Türkiye ve Iran	Yüksek Lisans Öğrencisi, Nejla BAZ Prof. Dr. Halil İbrahim GÖKBÖRÜ
		3	POPÜLER KÜLTÜRÜN BİR ÖGESİ OLAN MÜZİKTE PSİKOAKTİF MADDELERİN SUNUMU ve NORMALLEŞTİRİLMESİ: APPLE TÜRKİYE 2025 TOP 100 ŞARKILARI ÜZERİNE BİR İÇERİK ANALİZİ	Dr, Muhammet Emin Sözkese
		4	YENİ MEDYA VE GERÇEKLİĞİN YENİDEN İNŞASI:TÜRKİYE'DE MİGROS BOYKOTU ÖRNEĞİNDE DİJİTAL AKTİVİZM	Yüksek Lisans Öğrencisi, TUĞÇE OLUZ Dr. Öğr. Üyesi,BAHATTİN CİZRELİ
		5	THE EFFECTS OF GRATITUDE INTERVENTIONS ON INTRINSIC SPIRITUALITY, POSITIVE PERCEPTION, AND JOY OF LIFE AMONG NURSING HOME RESIDENTS	Merve SÜMER Doç. Dr. Ömer Faruk CANTEKİN
		6	EVALUATION OF FOREST FIRES IN ÇANAKKALE AND ITS SURROUNDINGS IN TERMS OF DISASTER MANAGEMENT AND RESPONSE	Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra IŞIK YAVUZ Dr. Öğr. Üyesi Erdem GÜNDOĞDU

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Dr. Öğr. Üyesi, FARUK GALYON	1	AMELİYAT ÖNCESİ VE SIRASINDA UYGULANAN MÜZİK TERAPİNİN HASTALARDA ANKSİYETE ÜZERİNE ETKİSİ	Hemşire, Kübra AVCI Dr. Öğr. Üyesi, Enes BULUT
		2	ASSESSMENT OF NUTRITIONAL QUALITY IN OLDER ADULTS (HEI-2015) AND DETERMINANT SOCIODEMOGRAPHIC FACTORS: A PRIMARY CARE EXPERIENCE	Uzm. Dr., ZEHRA SALTIKALP SERT Uzm. Dyt., NAGİHAN ARI
		3	ACUPUNCTURE APPLICATIONS FOR THE REDUCTION OF POSTOPERATIVE PAIN	Hemşire, Recep MAFRAK Dr. Öğr. Üyesi, Enes BULUT
		4	ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRIFOOD SUPPLY CHAINS: ENHANCING QUALITY CONTROL DURING CULTIVATION AND PRODUCTION	Dr. Öğr. Üyesi, FARUK GALYON
		5	İMPIRAMİNİN DİYABETİK SIÇANLARDAN ELDE EDİLEN SINAPTOZOMLAR ÜZERİNE SEMAFORIN SINYAL YOLAĞI ÜZERİNDEN ETKİSİ	Moleküler Biyolog, Merve TAŞTAN

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Dr. Öğr. Üyesi Işıl SARAÇ SİVRİKAYA	1	REGIONAL DISTRIBUTION OF FUNGAL PATHOGENS AFFECTING NUT CROP SPECIES İN TÜRKİYE	Doç. Dr. Abdullah GÜLLER Dr. Öğr. Üyesi Işıl SARAÇ SİVRİKAYA
		2	A CRITICAL EVALUATION OF CORDYCEPS SPECIES AS DIETARY SUPPLEMENTS: BIOLOGICAL EFFECTS, EVIDENCE LEVEL, AND SAFETY CONCERNS	Dr. Öğr. Üyesi Işıl SARAÇ SİVRİKAYA
		3	TRANSITION TO SUSTAINABILITY IN VITICULTURE: CLIMATE CHANGE, POLICY TARGETS, AND THE TRANSFORMATIVE ROLE OF BIOSTIMULANTS	Adnan DOĞAN Bulut Sarğın
		4	BIOCHAR-BASED SYNERGIES IN VEGETABLE CULTIVATION: ORGANIC AMENDMENTS, FERTILIZATION, IRRIGATION AND RHIZOSPHERE MANAGEMENT	Bulut SARGİN Mehmet Can DİKİCİ
		5	ANTIMICROBIAL AND ANTI-MRSA ACTIVITIES OF ETHANOL EXTRACTS FROM ARUM ITALICUM MILL.	Asst. Prof. Dr. Erdoğan GÜNEŞ

No: 5

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES				
June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Bhumika Sharma	1	MATERNAL MENTAL HEALTH IN MODERN TIMES: A GLOBAL AND SOCIAL CHALLENGE IN THE MODERN TIMES	Ms. Riya Yadav Dr. Bhumika Sharma
		2	THE RIGHT TO LIFE OF GIG AND PLATFORM WORKERS: A LEGAL AND ETHICAL ANALYSIS OF FAST DELIVERY APPLICATIONS IN INDIA	Dr. Saurabh kishor Dr. Harish Kumar Ms. Sania Perwez
		3	AI FOR EDUCATION SECTOR: EFFORTS IN THE INDIAN EDUCATION SYSTEM	Khushi Tiwari Saksham Srivastava Mr. Hitesh Manglani
		4	SPATIALLY VARYING DRIVERS OF URBAN SETTLEMENTS IN ALBANIA: FROM EXPLORATORY PCA TO EXPLANATORY GWR	Mariglen Sherifaj Albina Sinani
		5	SOUTH AFRICAN ADULTS' PERCEPTIONS OF CHILDREN'S USE OF SOCIAL MEDIA	Andrew Mfundo Masiya

No: 4

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assist. Prof. Dr. Canan Turan	1	EFFECT OF AN UNDERLYING STIFF LAYER ON THE SETTLEMENT BEHAVIOUR OF SHALLOW FOUNDATIONS IN LAYERED SOIL	Assist. Prof. Dr. Canan Turan
		2	BİYOFİLİK TASARIM İLKELERİNİN FARKLI MEKÂN TÜRLERİ ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	Arş. Gör. Dr., BURCU TANRIKUT
		3	DOĞA TEMELLİ TASARIM YAKLAŞIMLARI: ODAK NOKTALARI ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRMALI BİR İNCELEME	Arş. Gör. Dr., BURCU TANRIKUT
		4	EVALUATION OF FAÇADE-RELATED FIRE RISKS IN HIGH-RISE BUILDINGS THROUGH REAL CASE ANALYSES	Asst. Prof. Dr. Mehmet Akif Yıldız
		5	KAMPÜS YAPILARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ BAĞLAMINDA MİMARİ FORMUN ROLÜ	ELÇİN GÜN Doç. Dr. , GÖKHAN UŞMA
		6	THE IMPORTANCE OF THERMAL TOURISM AND LANDSCAPE DESIGN CRITERIA: AN EXAMPLE OF THE YALOVA THERMAL SPA	İbrahim KARABULUT Prof. Dr. Nurhan KOÇAN
		7	PLANNING OF BUNGALOW-TYPE CAMPING AREAS AND A PROPOSAL FOR UZUNOZ AREA IN BARTIN CITY	Emirhan GÜNEŞ Emirhan ÖZSUVEREN Prof. Dr. Nurhan KOÇAN

No: 2

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Prof. DR. Nourredine Cherifi,	1	THE INTERPLAY OF RELIGION AND PHILOSOPHY IN AZERBAIJANI CULTURAL CONTEXT	Nigar Mammadova, Elvin Huseynov,
		2	PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF RELIGIOUS BELIEFS IN MODERN AZERBAIJAN	Farid Aliyev, Leyla Ismayilova
		3	THE INFLUENCE OF ISLAMIC PHILOSOPHY ON CONTEMPORARY ETHICS IN IRAN	Dr. Mohammad Rezaei, Lec. Simin Ahmadi,
		4	RELIGION AND PHILOSOPHY: A CRITICAL STUDY OF REASON AND FAITH IN IRANIAN THOUGHT	Ali Karimi, Fatemeh Hosseini,
		5	RELIGIOUS PHILOSOPHY AND NATIONAL IDENTITY IN ALGERIA	Assoc. Prof. Dr. Yacine Belkacem, Amira Bouzid, Karim Mansouri,
		6	THE ROLE OF PHILOSOPHY IN SHAPING ALGERIAN THEOLOGICAL DISCOURSE	Prof. DR. Nourredine Cherifi,
		7	THE SYNTHESIS OF RELIGIOUS AND PHILOSOPHICAL THOUGHT IN GEORGIAN INTELLECTUAL TRADITIONS	Dr. Nino Beridze, Dr. Levan Tsereteli,
		8	MODERN GEORGIAN PHILOSOPHICAL REFLECTIONS ON THE MEANING OF FAITH	Tamar Javakhishvili, Assis. Prof. Dr. Giorgi Kapanadze,

KARADENİZ 20th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 26 – 28, 2026 RIZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 27 Haziran / June 27, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assoc. Prof. Dr. Soraya Mahmoudi	1	SHIITE ESCHATOLOGY AND CONTEMPORARY IRANIAN POLITICAL DISCOURSE IN POST-REVOLUTIONARY ERA	Prof. Dr. Mohammad Rezaei Ali Hosseini Fatemeh Karimi Reza Jalali Leila Ahmadi
		2	MYSTICAL INTERPRETATIONS OF SUFISM IN CLASSICAL PERSIAN POETRY TRADITIONS	Assoc. Prof. Dr. Soraya Mahmoudi
		3	COPTIC CHRISTIAN THEOLOGY AND IDENTITY PRESERVATION UNDER ISLAMIC GOVERNANCE IN EGYPT	Dr. Amir Khalil Nadia Shenouda Samuel Iskander
		4	QURANIC HERMENEUTICS AND MODERN EGYPTIAN REFORMIST THOUGHT MOVEMENTS	Prof. Dr. Fatima El-Sayed Karim Abdelnour Layla Gamal
		5	EVANGELICAL THEOLOGICAL RESPONSES TO SECULARIZATION IN AMERICAN PUBLIC SPHERE	Assoc. Prof. Dr. Jonathan Hayes Sarah Mitchell Assis. Prof. Dr. David Larson
		6	REFORMED CALVINISM AND CONTEMPORARY SOCIAL JUSTICE ACTIVISM IN U.S. CHURCHES	Dr. Emily Carter Michael Reynolds
		7	ISLAMIC THEOLOGY EVOLUTION IN SHIITE AZERBAIJANI COMMUNITIES POST-SOVIET ERA	Prof. Dr. Elnur Hasanov Dr. Nigar Aliyeva Farid Gurbanov
		8	ORTHODOX CHRISTIAN SPIRITUALITY AND NATIONAL IDENTITY IN SECULAR AZERBAIJAN	Assoc. Prof. Dr. Aysel Ibrahimova Kamran Abbasov

Contents

ÜRETKEK YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA ARAŞTIRMACI SORUMLULUĞU VE BİLİMSSEL GÜVENİLİRLİK: ELEŞTİREL BİR DERLEME	1
FİTNESS YAPAN KADINLARIN ROMANTİK İLİŞKİLERİNDE ZAMAN, KISKANÇLIK VE YAKINLIĞIN MÜZAKERESİ: SPOR YAPMAYAN PARTNER BAĞLAMINDA BÜTÜNLEŞTİRİCİ BİR KAVRAMSAL ÇERÇEVE	12
KADINLARDA PİLATES EGZERSİZLERİNİN FİZİKSEL VE PSİKOLOJİK SAĞLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNE YÖNELİK GÜNCEL KANITLARIN İNCELENMESİ	28
PİLATES EGZERSİZLERİNİN DEPRESYON, ANKSİYETE VE STRES ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNE İLİŞKİN GÜNCEL KANITLARIN ELEŞTİREL DEĞERLENDİRİLMESİ	44
DİJİTALLEŞME ÇAĞINDA ÇOCUKLARIN FİZİKSEL AKTİVİTE DÜZEYLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN ELEŞTİREL İNCELENMESİ: SİSTEMATİK BİR DERLEME	57
OKUL SPORLARI VE SOSYAL BECERİ GELİŞİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİYE YÖNELİK GÜNCEL LİTERATÜRÜN ELEŞTİREL ANALİZİ	73
MESLEK YÜKSEKOKULLARINDA İŞYERİNDE UYGULAMALI EĞİTİMİN ÖĞRENCİLERİN KARIYER GELİŞİMİNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ: ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ TERME MESLEK YÜKSEKOKULU ÖRNEĞİ	84
MESLEK YÜKSEKOKULLARINDA İŞYERİ UYGULAMALI EĞİTİM MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE ÖNEMİ: TERME MYO ÖRNEĞİ	98
COEFFICIENT AND FEKETE-SZEGÖ PROBLEM FOR CERTAIN SUBCLASS OF CONEX FUNCTIONS ASSOCIATED WITH q – ANALOGUE OF THE q – EXPONENTIAL FUNCTION	105
COEFFICIENT AND FEKETE-SZEGÖ PROBLEM FOR CERTAIN SUBCLASS OF STARLIKE FUNCTIONS ASSOCIATED WITH q – ANALOGUE OF THE q – EXPONENTIAL FUNCTION	115
UPPER BOUND ESTIMATE OF THE SECOND HANKEL DETERMIANT FOR CERTAIN SUBCLASS OF STARLIKE FUNCTIONS.....	125
UPPER BOUND ESTIMATE OF THE SECOND HANKEL DETERMINANT FOR CERTAIN SUBCLASS OF CONVEX FUNCTIONS.....	136
INTERACTIVE TEACHING OF TOPOLOGICAL MANIFOLDS: DYNAMIC 3D MODELING OF THE KLEIN BOTTLE.....	147
COMPUTATIONAL TOPOLOGICAL MODELING AND DYNAMIC VISUALIZATION OF MULTIVALUED FUNCTIONS VIA RIEMANN SURFACES.....	158
SOBER REFLEXIVE SPACES	166
TD REFLEXIVE SPACES	167
GENÇ FUTBOLCULARIN MEVKİLERE GÖRE BAZI MOTORİK ÖZELLİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	168
FİZİKSEL AKTİVİTENİN UYKU BOZUKLUĞU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	170

GEBELİKTE FİZİKSEL AKTİVİTENİN ANNE VE FETÜS SAĞLIĞINA ETKİLERİ	179
FİZİKSEL AKTİVİTENİN OTİZM SPEKTRUM BOZUKLUĞU OLAN BİREYLERİN İNCE MOTOR BECERİLERİNE ETKİSİ.....	187
DİJİTAL EKRAN KULLANIMININ ARTTIĞI OKUL ÖNCESİ DÖNEMDE FİZİKSEL AKTİVİTENİN ÖNEMİ: BİR DERLEME ÇALIŞMASI	196
THE EFFECT OF PERIODIC ADDITION OF SELENOUREA ON PbSe THIN FILMS PRODUCED BY CHEMICAL BATH DEPOSITION METHOD	205
NUMERICAL ANALYSIS OF THE HEATING PERFORMANCE OF WALL TYPE SOLAR CHIMNEYS IN CLOSED SPACES.....	217
PERFORMANCE ANALYSIS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM INTEGRATED HYBRID SOLAR CHIMNEY POWER PLANTS.....	223
DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN AL-ZN-MG ALAŞIMLARINDA MAGNEZYUM ORANININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ	229
TEK-TEK ÇEKİRDEKLERDE MANYETİK DİPOL MOMENTLERİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİYLE MODEL İNCELENMELERİ	238
INVESTIGATING THE EFFECT OF COLD SIDE INLET MODIFICATION ON THE OVERALL BEHAVIOR OF A SHELL AND HELICALLY COILED HEAT EXCHANGER: A NUMERICAL STUDY.....	240
CT IMAGE-BASED LUNG CANCER CLASSIFICATION USING HOG FEATURES AND MACHINE LEARNING MODELS.....	251
SIK ÖRÜNTÜ MADENCİLİĞİ ALGORİTMALARININ ÇİFT KÜTÜPHANE İLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: SPMF VE PAMI ÜZERİNDE APRIORI, FP-GROWTH VE ECLAT	270
HİPERTANSİYON HASTALARINDA VE SAĞLIKLI BİREYLERDE TOTAL KAN ANALİZ VERİLERİ KULLANILARAK YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE HİPERTANSİYON TAHMİNİ.....	286
SİBER GÜVENLİKTE SOSYAL MÜHENDİSLİK SALDIRILARI ve KORUNMA YÖNTEMLERİ.....	289
AMELİYAT ÖNCESİ VE SIRASINDA UYGULANAN MÜZİK TERAPİNİN HASTALARDA ANKSİYETE ÜZERİNE ETKİSİ	303
ASSESSMENT OF NUTRITIONAL QUALITY IN OLDER INDIVIDUALS (HEI-2015) AND DETERMINING SOCIODEMOGRAPHIC FACTORS: PRIMARY CARE EXPERIENCE.....	314
AMELİYAT SONRASI AĞRIYI AZALTMAK İÇİN AKUPUNKTUR UYGULAMALARI.....	325
ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRIFOOD SUPPLY CHAINS: ENHANCING QUALITY CONTROL DURING CULTIVATION AND PRODUCTION	334
İMİPİRAMİNİN DİYABETİK SIÇANLARDAN ELDE EDİLEN SİNAPTOZOMLAR ÜZERİNE SEMAFORİN SİNYAL YOLAĞI ÜZERİNDEN ETKİSİ	345
<i>CORDYCEPS</i> TÜRLERİNİN BESİN TAKVİYESİ OLARAK KULLANIMININ ELEŞTİREL DEĞERLENDİRİLMESİ: BİYOLOJİK ETKİLER, KANIT DÜZEYİ VE GÜVENLİK SORUNLARI	358
TÜRKİYE'DE KABUKLU MEYVE TÜRLERİNDE GÖRÜLEN FUNGAL HASTALIK ETMENLERİNİN BÖLGESEL DAĞILIMI.....	369

SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BİYOÇAR TEMELLİ UYGULAMALARIN GÜVENLİ PLANLANMASI	377
AĞCILIKTA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE GEÇİŞ: İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, POLİTİK HEDEFLER VE BİYOSTİMULANTLARIN DÖNÜŞTÜRÜCÜ ROLÜ	393
ANTIMICROBIAL AND ANTI-MRSA ACTIVITIES OF ETHANOL EXTRACTS FROM <i>ARUM ITALICUM</i> MILL.	423
EFFECT OF AN UNDERLYING STIFF LAYER ON THE SETTLEMENT BEHAVIOUR OF SHALLOW FOUNDATIONS IN LAYERED SOIL	432
DOĞA TEMELLİ TASARIM YAKLAŞIMLARI: ODAK NOKTALARI ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRMALI BİR İNCELEME	442
BİYOFİLİK TASARIM İLKELERİNİN FARKLI MEKÂN TÜRLERİ ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	458
YÜKSEK YAPILARDA CEPHE KAYNAKLI YANGIN RİSKLERİNİN GERÇEK VAKA ANALİZLERİ ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	470
KAMPÜS YAPILARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ BAĞLAMINDA MİMARİ FORMUN ROLÜ	473
TERMAL TURİZM TESİSLERİNİN ÖNEMİ VE PEYZAJ TASARIM KRİTERLERİ: YALOVA TERMAL KAPLICALARI ÖRNEĞİ	486
BUNGALOV TİPİ KAMPİNG ALANLARI KULLANIM PLANLAMASI VE BARTIN KENTİ UZUNÖZ MEVKİ İÇİN BİR ÖNERİ.....	500
EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF NON-COMMUNICABLE DISEASES AND LIFESTYLE FACTORS IN URBAN UZBEKISTAN.....	512
MATERNAL AND CHILD HEALTH OUTCOMES IN RURAL UZBEK COMMUNITIES: ACCESS AND INTERVENTION STRATEGIES	513
IMPACT OF AIR POLLUTION ON RESPIRATORY HEALTH IN HIGH-DENSITY INDIAN CITIES	514
NUTRITIONAL DEFICIENCIES AND THEIR EFFECT ON ADOLESCENT DEVELOPMENT IN RURAL INDIA.....	515
PREVALENCE OF INFECTIOUS DISEASES AND COMMUNITY HEALTH RESPONSES IN YEMENİ URBAN AREAS	516
HEALTHCARE ACCESSIBILITY CHALLENGES IN CONFLICT-AFFECTED YEMENİ REGIONS	517
THE ROLE OF TELEMEDICINE IN IMPROVING PRIMARY HEALTHCARE DELIVERY IN YEMEN ...	518
ASSESSMENT OF CARDIOVASCULAR DISEASE RISK FACTORS IN LIBYAN ADULT POPULATION	519
MENTAL HEALTH AWARENESS AND COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS IN POST-CONFLICT LIBYA	520
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL ORGANIC COMPOUNDS FOR PHARMACEUTICAL APPLICATIONS IN UZBEKISTAN	521
CATALYTIC CONVERSION OF NATURAL GAS INTO VALUE-ADDED CHEMICALS IN UZBEK INDUSTRIAL PROCESSES.....	522
GREEN SYNTHESIS OF NANOPARTICLES USING PLANT EXTRACTS IN INDIAN CHEMICAL RESEARCH	523

ELECTROCHEMICAL STUDIES OF CORROSION INHIBITORS FOR INDUSTRIAL METALS IN INDIAN ENVIRONMENTS	524
ANALYSIS OF WATER POLLUTANTS AND CHEMICAL REMEDIATION METHODS IN YEMENI URBAN AREAS	525
POLYMER-BASED MATERIALS FOR DESALINATION TECHNOLOGIES IN YEMEN	526
INVESTIGATION OF BIOACTIVE NATURAL PRODUCTS FROM YEMENI MEDICINAL PLANTS	527
PETROCHEMICAL PROCESS OPTIMIZATION IN LIBYAN OIL REFINERIES USING ADVANCED CATALYSTS	528
ENVIRONMENTAL CHEMISTRY APPROACHES FOR AIR POLLUTION CONTROL IN LIBYAN CITIES	529
WIRELESS COMMUNICATION MODULE OPTIMIZATION FOR IOT APPLICATIONS IN MOLDOVA	530
DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT CMOS CIRCUITS IN BANGLADESHI ELECTRONICS INDUSTRY	531
DEVELOPMENT OF SMART ANTENNA SYSTEMS FOR 5G NETWORKS IN BANGLADESH.....	532
FAULT-TOLERANT CONTROL SYSTEMS IN INDUSTRIAL ELECTRONICS APPLICATIONS IN ALGERIA	533
DESIGN OF EMBEDDED SYSTEMS FOR SOLAR ENERGY MANAGEMENT IN ALGERIAN DESERT REGIONS	534
APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN ELECTRONIC SIGNAL PROCESSING SYSTEMS IN ALGERIA	535
FPGA-BASED DIGITAL SYSTEM DESIGN FOR TELECOMMUNICATION APPLICATIONS IN UKRAINE	536
POWER ELECTRONICS AND SMART GRID INTEGRATION TECHNOLOGIES IN UKRAINIAN ENERGY SYSTEMS	537
SUSTAINABLE VITICULTURE PRACTICES AND SOIL FERTILITY MANAGEMENT IN MOLDOVAN AGRICULTURAL SYSTEMS	538
CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES FOR CROP PRODUCTION IN MOLDOVA'S RURAL AREAS.....	539
RICE PRODUCTION OPTIMIZATION THROUGH PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES IN BANGLADESH	540
SALINITY MANAGEMENT AND ITS IMPACT ON AGRICULTURAL PRODUCTIVITY IN COASTAL BANGLADESH	541
DESERT AGRICULTURE INNOVATIONS FOR WATER-EFFICIENT CROP CULTIVATION IN ALGERIA	542
AGROFORESTRY SYSTEMS AND BIODIVERSITY CONSERVATION IN NORTHERN ALGERIAN REGIONS	543

SOIL EROSION CONTROL METHODS AND THEIR EFFECTIVENESS IN ALGERIAN HIGHLAND FARMING.....	544
PRECISION FARMING TECHNOLOGIES FOR WHEAT PRODUCTION IN UKRAINIAN AGRICULTURAL ENTERPRISES	545
EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ON ZOO NOTIC DISEASES IN LIVESTOCK POPULATIONS IN RURAL ROMANIA.....	546
ADVANCES IN VETERINARY VACCINATION STRATEGIES FOR CATTLE HEALTH MANAGEMENT IN ROMANIAN FARMS	547
PARASITOLOGICAL ANALYSIS OF SHEEP AND GOAT DISEASES IN MOROCCAN AGRICULTURAL SYSTEMS	548
VETERINARY PUBLIC HEALTH APPROACHES TO CONTROL RABIES IN NORTH AFRICAN URBAN AREAS.....	549
MOLECULAR DIAGNOSIS OF AVIAN INFLUENZA VIRUSES IN EGYPTIAN POULTRY FARMS	550
NUTRITIONAL MANAGEMENT AND GROWTH PERFORMANCE IN CAMELS UNDER ARID EGYPTIAN CONDITIONS	551
ANTIMICROBIAL RESISTANCE PATTERNS IN DAIRY CATTLE PATHOGENS IN EGYPT.....	552
DIAGNOSTIC IMAGING TECHNIQUES IN SMALL ANIMAL VETERINARY PRACTICE IN UKRAINE	553
REPRODUCTIVE HEALTH MANAGEMENT IN HORSES IN UKRAINIAN EQUINE CLINICS.....	554
SUSTAINABLE URBAN REGENERATION STRATEGIES IN POST-COMMUNIST ROMANIAN CITIES	555
ADAPTIVE REUSE OF INDUSTRIAL HERITAGE BUILDINGS IN BUCHAREST METROPOLITAN AREA	556
TRADITIONAL MOROCCAN COURTYARD ARCHITECTURE AND ITS CLIMATE-RESPONSIVE DESIGN PRINCIPLES.....	557
URBAN MORPHOLOGY AND INFORMAL SETTLEMENT DEVELOPMENT IN CASABLANCA PERIPHERIES.....	558
PASSIVE COOLING TECHNIQUES IN VERNACULAR EGYPTIAN DESERT ARCHITECTURE.....	559
SMART CITY IMPLEMENTATION AND HERITAGE CONSERVATION IN HISTORIC CAIRO DISTRICTS	560
WATERFRONT URBAN DESIGN AND RESILIENCE STRATEGIES ALONG THE NILE RIVER IN EGYPT	561
POST-WAR RECONSTRUCTION AND URBAN IDENTITY IN UKRAINIAN CITIES.....	562
APPLICATION OF AUTOMORPHISM GROUPS IN GRAPH THEORY AND THEIR IMPLICATIONS FOR NETWORK STRUCTURES	563
RECENT ADVANCES IN PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS: ANALYSIS AND COMPUTATION .	564
ASYMPTOTIC ANALYSIS OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS IN PHYSICAL MODELLING	565

RECENT METHODS IN ALGEBRAIC NUMBER THEORY: APPLICATIONS TO CRYPTOGRAPHY	566
ADVANCES IN MACHINE LEARNING APPROACHES FOR MATHEMATICAL OPTIMIZATION.....	567
MODELING SPATIOTEMPORAL PHENOMENA WITH PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN ENVIRONMENTAL SCIENCES	568
STABILITY AND SPECTRAL ANALYSIS OF NONLINEAR OPERATORS IN FUNCTION SPACES	569
FUZZY LOGIC SYSTEMS AND THEIR APPLICATION IN UNCERTAIN REAL-WORLD DATA MODELLING	570
SYMMETRY ANALYSIS IN SOLVING COMPLEX SYSTEMS OF NONLINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS	571
INNOVATIVE STRATEGIES IN THE SEISMIC DESIGN OF URBAN INFRASTRUCTURE IN YEREVAN	572
DEVELOPMENT OF ECO-FRIENDLY CONCRETE COMPOSITES WITH LOCALLY SOURCED MATERIALS	573
INTELLIGENT FLOOD MANAGEMENT SYSTEMS FOR URBAN CENTERS IN LAHORE.....	574
ADVANCED OPTIMIZATION OF WIND ENERGY INFRASTRUCTURE IN COASTAL PAKISTAN	575
APPLICATION OF NANOMATERIALS IN WATER PURIFICATION SYSTEMS FOR KARACHI	576
SUSTAINABLE DESIGN OF EMBANKMENT DAMS UNDER ARID CLIMATE CONDITIONS.....	577
PERFORMANCE EVALUATION OF SMART TRAFFIC MANAGEMENT TECHNOLOGIES IN MUSCAT	578
DEVELOPING SOLAR-POWERED MICROGRID SOLUTIONS FOR REMOTE COMMUNITIES IN OMAN	579

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA ARAŞTIRMACI SORUMLULUĞU VE BİLİMSEL GÜVENİLİRLİK: ELEŞTİREL BİR DERLEME

ESRA AKTAŞ

İnönü Üniversitesi,

esra.akt6321@gmail.com - ORCID ID : 0009-0002-1936-5758

Doç. Dr. Özgür EKEN

İnönü Üniversitesi,

ozgur.eken@inonu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0002-5488-3158

Prof. Dr. Betül AKYOL

İnönü Üniversitesi,

betul.akyol@inonu.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-3836-1317

ÖZET

Üretken yapay zekâ araçlarının 2022 yılı sonundan itibaren ücretsiz ve genel erişime açılmasıyla bilimsel araştırma pratiğinin gündelik mekaniği hızla dönüşmüş; literatür taraması, taslak yazımı, çeviri, dil denetimi ve veri analizi gibi belirleyici adımlar bu araçlara devredilebilir hâle gelmiştir. Bu eleştirel derleme, söz konusu dönüşümü betimlemekle yetinmeyip alanyazındaki çatışan konumları üç eksenle karşılaştırmalı olarak çözümlemeyi amaçlamaktadır: araştırmacı sorumluluğunun nereye yerleştiği, bilimsel bilginin güvenilirliğinin hangi koşullarda zedelendiği ve mevcut etik düzenlemelerin bu sorunlara ne ölçüde gerçek bir yanıt verdiği. Araştırmanın literatür taraması, belirlenen anahtar kelimeler kullanılarak Web of Science, Scopus, PubMed, TR Dizin ve Google Scholar veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Çözümleme, aracı bir araştırma partneri sayan yaklaşımlarla onu sorumluluk taşıyamayan bir taklit mekanizması olarak gören yaklaşımların açıkça karşılaştığını ortaya koymaktadır. Bulgular, üretken yapay zekânın fikir üretme, zaman tasarrufu ve dil denetimi gibi alanlarda gerçek katkılar sunduğunu; buna karşılık uydurma kaynaklar, izlenmesi güç bir intihal biçimi, algoritmik önyargı, kara kutu sorunu ve mahremiyet riskleri ürettiğini göstermektedir. Hatalı çıktıyı ayırt edebilmenin alan uzmanlığı gerektirmesi, en yüksek güvenilirlik riskinin en deneyimsiz araştırmacılarda yoğunlaştığı paradoksal bir asimetri doğurmaktadır. Kurumsal metinler sorumluluğu insanda toplama konusunda uzlaşsa

da, beyana dayalı, denetimsiz ve yaptırımsız bir rejimin güvenilirliği teyit edemediği değerlendirilmektedir. Çalışma; beyanın asgari teknik içerikle standartlaştırılmasını, yapay zekâ okuryazarlığının bağımsız bir yetkinlik olarak öğretilmesini ve niceliğe dayalı yayın teşvik kültürünün yeniden düşünülmesini önermektedir. Sonuç olarak aracın bilimsel güvenilirliğe etkisi, onun bir özelliği değil, kullanan toplulukların kurduğu denetim, teşvik ve sorumluluk düzeneklerinin bir ürünüdür.

Anahtar Kelimeler: Üretken yapay zekâ, Araştırmacı sorumluluğu, Bilimsel güvenilirlik, Araştırma etiği.

RESEARCHER RESPONSIBILITY AND SCIENTIFIC RELIABILITY IN THE AGE OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A CRITICAL REVIEW

ABSTRACT

With the release of generative AI tools for free and general access beginning in late 2022, the day-to-day mechanics of scientific research have rapidly transformed; critical steps such as literature reviews, draft writing, translation, language checking, and data analysis have become tasks that can be delegated to these tools. This critical review aims to describe this transformation and comparatively analyze conflicting positions in the literature across three axes: where researcher responsibility lies, under what conditions the reliability of scientific knowledge is compromised, and to what extent existing ethical regulations provide a genuine response to these issues. The literature review for this study was conducted using the identified keywords in the Web of Science, Scopus, PubMed, TR Dizin, and Google Scholar databases. The analysis reveals a clear contrast between approaches that regard AI as a research partner and those that view it as a mere imitation mechanism incapable of bearing responsibility. The findings indicate that generative AI offers tangible contributions in areas such as idea generation, time savings, and language editing; conversely, it generates fabricated sources, a form of plagiarism that is difficult to track, algorithmic bias, the black box problem, and privacy risks. The fact that identifying erroneous output requires domain expertise creates a paradoxical asymmetry in which the highest risk to reliability is concentrated among the least experienced researchers. While institutional texts agree on placing responsibility on individuals, it is assessed that a regime based on self-declaration, lacking oversight and enforcement, cannot ensure reliability. This study recommends standardizing declarations with minimal technical

content, teaching AI literacy as an independent competency, and rethinking the culture of publication incentives based on quantity. Ultimately, the tool's impact on scientific reliability is not an inherent property of the tool itself but rather a product of the oversight, incentive, and accountability mechanisms established by the communities that use it.

Keywords: Generative artificial intelligence, Researcher responsibility, Scientific reliability, Research ethics.

1. GİRİŞ

Kasım 2022'de ChatGPT'nin kamuya açılması, üretken yapay zekânın (ÜYZ) yalnızca teknik bir yenilik olarak değil, bilgi üretiminin gündelik düzenini değiştiren bir aktör olarak tartışılmasına yol açmıştır. Aracın ücretsiz, kullanımı kolay ve görünüşte birçok konuda tutarlı metin üretebilen bir arayüze sahip olması, kısa sürede yaygınlaşmasını sağlamıştır (Homolak, 2023). Bu yaygınlaşma akademiye kayıtsız bırakmamış; literatür taraması, taslak oluşturma, çeviri, dil denetimi ve veri analizi gibi araştırmanın belirleyici adımları, ilke olarak bu araçlara devredilebilir hâle gelmiştir (Dwivedi vd., 2023; Eren ve Şişman, 2025). Türkçe alanyazında da dilin üretken yapay zekâ tarafından işlenebilir bir nesneye dönüşmesi, eğitsel ve bilişsel süreçlerin yeniden tanımlanmasını gerektiren bir dönüm noktası olarak değerlendirilmiştir (Bozkurt, 2023).

Bu dönüşümü salt bir verimlilik meselesi saymak, sorunu eksik kavramak olur. Söz konusu araçların metin üreten dil modelleri olması, ürettikleri içeriğin doğruluğunu güvence altına almaz; bu modeller içeriği yorumlama ya da anlama kapasitesinden yoksun, ikna edici görünen çıktılar üretmek üzere eğitilmiş istatistiksel sistemlerdir (Homolak, 2023). Dolayısıyla tartışma, bir araç değişiminin ötesine geçerek bilimsel bilginin meşruiyetini ayakta tutan üç temele dokunmaktadır: kim sorumludur, üretilen bilgiye neden güvenebiliriz ve bu güveni kim denetler? Alanyazın bu sorular etrafında belirgin biçimde kutuplaşmıştır. Bir uçta aracı bir tür yardımcı ya da "ortak" olarak konumlandıran, hatta onu ortak yazar olarak listeleyen uygulamalar yer alır (Stokel-Walker, 2023; O'Connor ve ChatGPT, 2023). Diğer uçta ise yazarlığın taşıdığı hesap verebilirliğin yalnızca insana atfedilebileceğini, bu nedenle yapay zekânın yazar olamayacağını savunan editöryal duruşlar bulunur (Thorp, 2023; Flanagan vd., 2023).

Bu çalışma, anılan kutuplaşmayı betimlemekle yetinmeyip alanyazındaki çatışan konumları üç eksenle karşılaştırmalı olarak çözümlemeyi amaçlayan eleştirel bir derlemedir.

Birinci eksen, araştırmacı sorumluluğunun nereye yerleştiği; ikinci eksen, bilimsel bilginin güvenilirliğinin hangi koşullarda zedelendiği; üçüncü eksen ise mevcut etik düzenlemelerin bu sorunlara ne ölçüde gerçek bir yanıt verdiğidir. Derlemenin literatür taraması, üretken yapay zekâ, araştırmacı sorumluluğu, bilimsel güvenilirlik ve araştırma etiği gibi anahtar kelimeler kullanılarak Web of Science, Scopus, PubMed, TR Dizin ve Google Scholar veri tabanlarında yürütülmüş; konuyla doğrudan ilgili kavramsal, ampirik ve kurumsal metinler, karşıt argümanları görünür kılacak biçimde bir araya getirilmiştir. Amaç, aracın "iyi" mi yoksa "kötü" mü olduğuna dair indirgemeci bir yargıya varmak değil; etkisinin hangi koşullarda hangi yöne savrulduğunu çözümlemektir.

2. ÜRETKEN YAPAY ZEKÂNIN ARAŞTIRMA PRATİĞİNE ENTEGRASYONU VE KOŞULLU KATKILARI

Üretken yapay zekâ, geniş metin yığınları üzerinde önceden eğitilen büyük dil modellerine dayanır ve verilen girdilere insan diline benzeyen yanıtlar üretir (Chan ve Hu, 2023). Bu üretim, anlamı kavramaktan çok, eğitim verisindeki örüntüleri olasılıksal olarak yeniden birleştirmeye dayanır. Ayrım önemlidir: model, doğru olduğu için değil, olası görüldüğü için bir ifadeyi üretir (Homolak, 2023). Bu teknik gerçeklik, hem aracın sunduğu kolaylıkların hem de doğurduğu risklerin ortak kaynağıdır.

Araçların somut katkıları yadsınamaz. Fikir üretme, taslak hızlandırma ve özellikle ana dili İngilizce olmayan araştırmacılar için dil denetimi, alanyazında en sık vurgulanan kazanımlardır (Dwivedi vd., 2023; van Dis vd., 2023). Yükseköğretim bağlamında yürütülen görgül çalışmalar, kullanıcıların kişiselleştirilmiş yazma ve beyin fırtınası desteğini, geniş metinleri özetleme ve çözümleme kapasitesini olumlu karşıladığını göstermektedir (Chan ve Hu, 2023). Türkiye örneğinde lisans ve lisansüstü öğrencileriyle yürütülen bir araştırma da öğrencilerin bilimsel araştırma sürecinde en çok genel amaçlı araçları kullandığını ve bu kullanımın entelektüel ve işlevsel açıdan çeşitli fırsatlar sunduğunu ortaya koymuştur (Eren ve Şişman, 2025). Bu kazanımların tümü koşulludur: değeri, çıktının insan tarafından doğrulanıp doğrulanmamasına bağlıdır. Doğrulama adımı ortadan kalktığında, aynı hız ve kolaylık güvenilirlik açısından bir yükümlülüğe dönüşür.

3. ARAŞTIRMACI SORUMLULUĞUNUN KONUMU: PARTNER Mİ, ARAÇ MI?

Birinci ekseninde çözümlenmesi gereken karşıtlık, aracın araştırma sürecindeki ontolojik konumuna ilişkindir. Bir yaklaşım onu bir tür araştırma partneri sayar; bu kavrayışın en görünür ifadesi, ChatGPT'nin bazı yayınlarda ortak yazar olarak listelenmesidir (Stokel-Walker, 2023).

Hemşirelik eğitimi alanyazınında yayımlanan ve aracı açıkça yazar konumuna yerleştiren örnekler, bu eğilimin yalnızca kuramsal bir olasılık olmadığını göstermiştir (O'Connor ve ChatGPT, 2023). Söz konusu uygulamalar, aracın ürettiği metnin özgün katkı sayılıp sayılamayacağı ve "özgün çalışma"nın ne olduğu sorusunu yeniden gündeme taşımıştır (Dwivedi vd., 2023).

Buna karşılık, alanyazındaki baskın editöryal konum, yazarlığın yalnızca bir katkı meselesi değil, bir hesap verebilirlik meselesi olduğunu vurgular. Bir metnin yazarı olmak, içeriğin doğruluğundan ve bütünlüğünden sorumlu olmayı, gerektiğinde bu sorumluluğu üstlenmeyi gerektirir; bu ise yapay zekâ sistemlerine etkin biçimde atfedilemeyen, insana özgü bir yükümlülüktür (Flanagin vd., 2023; Thorp, 2023). Hukuk ve araştırma etiği perspektifinden yürütülen bir çözümleme, mevcut yapay zekâ sohbet botlarının özgün metin üretmeleri bakımından arama motorlarından ileri olsalar da, yazdıklarının sorumluluğunu taşıyamamaları bakımından hâlâ arama motoru düzeyinde kaldıkları ve bu nedenle yazar sayılamayacakları sonucuna varmıştır (Lee, 2023). Uluslararası Tıp Dergisi Editörleri Komitesi'nin yazarlık ölçütleri de bu çizgidedir: yazarlık, işin son hâlini onaylama ve sorumluluğunu üstlenme kapasitesini şart koşar (International Committee of Medical Journal Editors, 2023).

Bu konum, kurumsal düzeyde dikkat çekici bir uzlaşıya dönüşmüştür. Yayın etiği kuruluşları ve büyük yayıncılar, üretken yapay zekânın yazar olarak listelenemeyeceğinde, kullanımının ise açıklanması gerektiğinde birleşmektedir (Committee on Publication Ethics, 2023; Dwivedi vd., 2023). Yayıncı yönergelerini karşılaştıran güncel bir çözümleme, incelenen tüm yayıncıların aracı yazar saymayı koşulsuz biçimde reddettiğini ve yapay zekâ destekli içeriğin tüm sorumluluğunu insan yazara yüklediğini ortaya koymuştur (Chigwada ve Ngulube, 2026). Böylece birinci eksenle ortaya çıkan tablo açıktır: sorumluluk insanda toplanmaktadır. Ancak bu uzlaşının kendisi, sonraki bölümlerde ele alınacağı üzere, güvenilirliği güvence altına almak için yeterli bir koşul oluşturmamaktadır.

4. BİLİMSEL GÜVENİLİRLİĞİN ZEDELLENMESİ: RİSK MEKANİZMALARI

İkinci eksen, sorumluluk insanda toplandığında dahi güvenilirliğin hangi mekanizmalarla zedelendiğini sorgular. Bu mekanizmaların başında uydurma kaynaklar gelir. Aracın, gerçekte var olmayan ancak biçimsel olarak inandırıcı görünen kaynaklar üretmesi, alanyazında "halüsinasyon" olarak adlandırılmaktadır. Bu olgu, ilk olarak bilimsel yazımda çarpıcı biçimde belgelenmiş; aracın doğru görünen ancak hatalı ya da tümüyle uydurma içerik üretebildiği gösterilmiştir (Alkaissi ve McFarlane, 2023). Sorunun yaygınlığı ampirik olarak da

ölçülmüştür: ChatGPT'ye hazırlatılan araştırma önerilerindeki referansların doğrulanmasına dönük bir çalışmada, sağlanan dijital nesne tanımlayıcılarının önemli bir bölümünün ya çalışmadığı ya da bambaşka makalelere ait olduğu, kimi kaynakların ise hiçbir aramada karşılığının bulunmadığı saptanmıştır (Athaluri vd., 2023). Tıbbi içerik bağlamında yürütülen bir başka inceleme de yapay zekâ tarafından üretilen referanslarda yüksek oranda uydurma ve hatalı atıf bulunduğunu ortaya koymuştur (Bhattacharyya vd., 2023). Bu bulgular, aracın ürettiği metnin yüzeysel tutarlılığının doğruluk garantisi sağlamadığını gösterir.

İkinci risk, izlenmesi güç bir intihal biçimidir. Üretken araçların özgün görünümlü metinler üretebilmesi, kaynağı belirsiz bir yeniden üretimi mümkün kılar; kullanıcılar dahi insan üretimi ile makine üretimi içeriği ayırt etmenin giderek güçleştiğini bildirmektedir (Chan ve Hu, 2023). Üçüncü risk, algoritmik önyargıdır. Modeller çoğunlukla yanlı veri kümeleri üzerinde eğitildiğinden, mevcut önyargıları yeniden üretmeye ve pekiştirmeye yatkındır; örneğin cinsiyetçi kalıpları sürdüren çıktılar üretebildikleri gösterilmiştir (Homolak, 2023). Dördüncü risk, kara kutu sorunudur: sistemin bir sonuca nasıl ulaştığının çoğu kullanıcı için anlaşılmaz olması, çıktının doğrulanmasını güçleştirdiği gibi kamusal güvenin önünde de bir engel oluşturur (Chan ve Hu, 2023; Dwivedi vd., 2023). Bunlara mahremiyet riskleri eklenir; kullanıcı girdilerinin sistemin geliştirilmesinde kullanılması, kişisel ve gizli verilerin korunmasına ilişkin kaygıları beraberinde getirir (Chan ve Hu, 2023).

Bu risklerin ötesinde, derlemenin özgün katkısını oluşturan bir asimetriye dikkat çekmek gerekir. Hatalı ya da uydurma çıktıyı ayırt edebilmek, çoğu durumda alan uzmanlığı gerektirir. Var olmayan bir referansın uydurma olduğunu anlamak için ilgili alanyazını tanımak; çalışmayan bir tanımlayıcıyı fark etmek için doğrulama yordamlarını işletmek gerekir. Nitekim referansların güvenilirliğini değerlendiren ampirik çalışmada her bir kaynağın geçerliliği beş araştırmacının bağımsız taramasıyla teyit edilebilmiştir (Athaluri vd., 2023). Bu durum paradoksal bir sonuç doğurur: doğrulama yeteneği uzmanlıkla arttığına göre, en yüksek güvenilirlik riski, hatayı ayırt etme donanımından en yoksun olan en deneyimsiz araştırmacılarda yoğunlaşır. Riskin dağılımındaki bu adaletsizlik, yapay zekâ tabanlı tespit araçlarının da çözmediği, hatta derinleştirebildiği bir sorundur; söz konusu araçların ana dili İngilizce olmayan yazarların metinlerini orantısız biçimde "yapay" olarak işaretlediği gösterilmiştir (Liang vd., 2023). Böylece teknik denetim mekanizmaları, korumayı en çok gereksinen kesimleri koruyamamakta, kimi durumda onları haksız biçimde şüphe altında bırakmaktadır.

5. ETİK DÜZENLEMELERİN YANIT KAPASİTESİ: BEYANA DAYALI REJİMİN SINIRLARI

Üçüncü eksen, kurumsal düzenlemelerin bu risklere ne ölçüde gerçek bir yanıt verdiğini sorgular. Yüzeyde güçlü bir uzlaşma vardır. Yayın etiği kuruluşları, tıp dergisi editörleri birlikleri ve önde gelen yayıncılar; üretken yapay zekânın yazar olamayacağına, kullanımının açıklanması gerektiğinde ve nihai sorumluluğun insan yazarda kalacağına birleşmektedir (Committee on Publication Ethics, 2023; International Committee of Medical Journal Editors, 2023; Zielinski vd., 2023). Önde gelen bir dergi grubunun editöryal ilkeleri de saydamlığı bir araştırma bütünlüğü koşulu sayarak kullanımın yöntem bölümünde belgelenmesini istemektedir (Nature, 2023).

Bu uzlaşma gerekli olmakla birlikte yeterli değildir. Mevcut rejimin temel sınırı, ağırlıklı olarak beyana dayanmasıdır. İfşa yükümlülüğü, kullanıcının gönüllü bildirimine bağlıdır; bildirimin doğruluğunu bağımsız olarak teyit edecek bir denetim ve aykırılığı yaptırma sağlayacak bir mekanizma çoğunlukla yoktur. Beyan edilmeyen bir kullanımı tespit etmek ise, önceki bölümde gösterildiği üzere, kusurlu ve yanlış tespit araçlarına kalmaktadır (Liang vd., 2023). Buna, politikaların yayıncıdan yayıncıya farklılaşmasından doğan parçalılık eklenir; ortak bir çerçevenin yokluğu, hem yazarlar hem okurlar açısından kafa karıştırıcı ve verimsiz bir tablo yaratır (Dwivedi vd., 2023). Yayıncı yönergelerini karşılaştıran güncel çözümleme de ifşa gerekliliklerinin neyin, nerede açıklanacağı bakımından önemli farklılıklar taşıdığını ortaya koymaktadır (Chigwada ve Ngulube, 2026). Dolayısıyla kurumsal metinler sorumluluğu insanda toplamayı başarsa da, beyana dayalı, denetimsiz ve yaptırımsız bir rejimin güvenilirliği fiilen teyit edemediği değerlendirilmektedir.

6. ÖNERİLER: DENETİM, YETKİNLİK VE TEŞVİK DÜZENEKLERİNİN YENİDEN KURULMASI

Çözümlemekten üç eksenle birbirini tamamlayan öneriler türetilir. Birincisi, ifşanın standartlaştırılmasıdır. "Yapay zekâ kullanılmıştır" biçimindeki belirsiz bir bildirim doğrulamaya elverişli değildir; bunun yerine beyanın, kullanılan modelin ve sürümün, hangi araştırma adımı ve ne ölçüde başvurulduğunun belirtildiği asgari bir teknik içerikle yapılandırılması, denetimi olanaklı kılar. İkincisi, yapay zekâ okuryazarlığının bağımsız bir yetkinlik olarak öğretilmesidir. Aracın koşullu katkılarından yararlanırken risklerini

yönetebilmek; çıktıyı eleştirel biçimde değerlendirme, kaynak doğrulama ve sınırlılıkları tanıma becerilerini gerektirir (Bozkurt, 2023; van Dis vd., 2023). Bu yetkinliğin özellikle en deneyimsiz araştırmacılara erken kazandırılması, dördüncü bölümde tarif edilen asimetriyi hafifletebilir; nitekim öğrencilerin bilinçli ve sorumlu kullanım konusunda donanım kazanması gereği görgül araştırmalarda da vurgulanmaktadır (Chan ve Hu, 2023; Eren ve Şişman, 2025). Üçüncüsü, niceliğe dayalı yayın teşvik kültürünün yeniden düşünülmesidir. Üretkenliği tek başına ödüllendiren bir sistem, hızlı ancak doğrulanmamış üretimi özendirerek güvenilirlik risklerini büyütür; ödül ölçütlerinin nicelikten içeriğin sağlamlığına kayması, aracın sorumlu kullanımını yapısal olarak destekler.

7. SONUÇ

Bu eleştirel derleme, üretken yapay zekânın bilimsel araştırma pratiğine etkisini üç eksende çözümlemiş ve alanyazındaki temel karşıtlıkları görünür kılmıştır. Birinci eksen, aracı bir ortak sayan yaklaşımlarla onu sorumluluk taşıyamayan bir taklit mekanizması olarak gören yaklaşımların karşılaştığı; ancak kurumsal düzeyde sorumluluğun insanda toplanması konusunda güçlü bir uzlaşının olduğu görülmüştür. İkinci eksen, sorumluluk insana atfedilse dahi uydurma kaynaklar, izlenmesi güç intihal, algoritmik önyargı, kara kutu sorunu ve mahremiyet risklerinin güvenilirliği zedelediği; üstelik hatayı ayırt etmenin uzmanlık gerektirmesi nedeniyle en yüksek riskin en deneyimsiz araştırmacılarda yoğunlaştığı paradoksal asimetri ortaya konmuştur. Üçüncü eksen ise, mevcut etik düzenlemelerin gerekli fakat yetersiz kaldığı; beyana dayalı, denetimsiz ve yaptırımsız bir rejimin güvenilirliği teyit edemediği değerlendirilmiştir.

Bu üç eksen birlikte okunduğunda ortaya çıkan sonuç şudur: üretken yapay zekânın bilimsel güvenilirliğe etkisi, aracın bir özelliği değildir. Aynı araç, etkili bir denetimin, doğrulamayı önceleyen bir teşvik yapısının ve açıkça tanımlanmış bir sorumluluk düzeneğinin bulunduğu bir toplulukta güvenilirliği destekleyebilirken; bu düzeneklerin yokluğunda aynı araç güvenilirliği aşındıran bir etkene dönüşebilir. Başka bir deyişle aracın etkisi, onu kullanan toplulukların kurduğu denetim, teşvik ve sorumluluk düzeneklerinin bir ürünüdür. Bu nedenle tartışmanın odağı, teknolojinin kendisinden çok, onu çevreleyen kurumsal ve kültürel çerçeveye kaymalıdır. Gelecek araştırmaların, önerilen standartlaştırılmış ifşa biçimlerinin ve yapay zekâ okuryazarlığı müdahalelerinin güvenilirlik üzerindeki etkilerini görgül olarak sınaması, bu çerçevenin somutlaşmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Alkaissi, H., & McFarlane, S. I. (2023). Artificial hallucinations in ChatGPT: implications in scientific writing. *Cureus*, 15(2).

<https://doi.org/10.7759/cureus.35179>

Athaluri, S. A., Manthena, S. V., Kesapragada, V. S. R. K. M., Yarlagadda, V., Dave, T. ve Duddumpudi, R. T. S. (2023). Exploring the boundaries of reality: Investigating the phenomenon of artificial intelligence hallucination in scientific writing through ChatGPT references. *Cureus*, 15(4), e37432.

<https://doi.org/10.7759/cureus.37432>

Bhattacharyya, M., Miller, V. M., Bhattacharyya, D. ve Miller, L. E. (2023). High rates of fabricated and inaccurate references in ChatGPT-generated medical content. *Cureus*, 15(5), e39238. <https://doi.org/10.7759/cureus.39238>

Bozkurt, A. (2023). ChatGPT, üretken yapay zekâ ve algoritmik paradigma değişikliği. *Alanyazın Eğitim Bilimleri Eleştirel İnceleme Dergisi*, 4(1), 63-72. <https://doi.org/10.59320/alanyazin.1283282>

Chan, C. K. Y. ve Hu, W. (2023). Students' voices on generative AI: Perceptions, benefits, and challenges in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 43. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00411-8>

Chigwada, J., & Ngulube, P. (2026). Use of artificial intelligence tools in the publishing process: expectations from publishers through author guidelines. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 11, 1740510. <https://doi.org/10.3389/frma.2026.1740510>

Committee on Publication Ethics. (2023). *Authorship and AI tools: COPE position statement*. <https://publicationethics.org/cope-position-statements/ai-author>

Dwivedi, Y. K., Kshetri, N., Hughes, L., Slade, E. L., Jeyaraj, A., Kar, A. K., ... & Wright, R. (2023). So what if ChatGPT wrote it? Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 71(102642), 1-63. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642>

Eren, E. ve Şişman, S. (2025). Bilimsel araştırma sürecinde üretken yapay zekâ kullanımı: Fırsatlar ve etik kaygılar. *Tophum, Eğitim ve Kültür Araştırmaları Dergisi*, 4(2). <https://doi.org/10.5281/zenodo.17127884>

Flanagin, A., Bibbins-Domingo, K., Berkwits, M. ve Christiansen, S. L. (2023). Nonhuman “authors” and implications for the integrity of scientific authorship and publication. *JAMA*, 329(8), 637-639. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.1344>

Homolak, J. (2023). Opportunities and risks of ChatGPT in medicine, science, and academic publishing: A modern Promethean dilemma. *Croatian Medical Journal*, 64(1), 1-3. <https://doi.org/10.3325/cmj.2023.64.1>

International Committee of Medical Journal Editors. (2023). *Defining the role of authors and contributors*. <https://www.icmje.org/recommendations/browse/roles-and-responsibilities/defining-the-role-of-authors-and-contributors.html>

Lee, J. Y. (2023). Can an artificial intelligence chatbot be the author of a scholarly article? *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*, 20, 6. <https://doi.org/10.3352/jeehp.2023.20.6>

Liang, W., Yuksekgonul, M., Mao, Y., Wu, E., & Zou, J. (2023). GPT detectors are biased against non-native English writers. *Patterns*, 4(7).

<https://doi.org/10.1016/j.patter.2023.100779>

Nature. (2023). Tools such as ChatGPT threaten transparent science; here are our ground rules for their use. *Nature*, 613(7945), 612. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00191-1>

O'Connor, S. ve ChatGPT. (2023). Open artificial intelligence platforms in nursing education: Tools for academic progress or abuse? *Nurse Education in Practice*, 66, 103537. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2022.103537>

Stokel-Walker, C. (2023). ChatGPT listed as author on research papers: Many scientists disapprove. *Nature*, 613(7945), 620-621. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00107-z>

Thorp, H. H. (2023). ChatGPT is fun, but not an author. *Science*, 379(6630), 313. <https://doi.org/10.1126/science.adg7879>

van Dis, E. A. M., Bollen, J., Zuidema, W., van Rooij, R. ve Bockting, C. L. (2023). ChatGPT: Five priorities for research. *Nature*, 614(7947), 224-226. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00288-7>

Zielinski, C., Winker, M., Aggarwal, R., Ferris, L., Heinemann, M., Lapeña, J. F., ... & Citrome, L. (2023). Chatbots, ChatGPT, and scholarly manuscripts-WAME recommendations on ChatGPT and chatbots in relation to scholarly publications. *Afro-Egyptian Journal of Infectious and Endemic Diseases*, 13(1), 75-79. <https://wame.org/page3.php?id=106>

**FITNESS YAPAN KADINLARIN ROMANTİK İLİŞKİLERİNDE ZAMAN,
KISKANÇLIK VE YAKINLIĞIN MÜZAKERESİ: SPOR YAPMAYAN PARTNER
BAĞLAMINDA BÜTÜNLEŞTİRİCİ BİR KAVRAMSAL ÇERÇEVE**

ESRA AKTAŞ

İnönü Üniversitesi,

esra.akt6321@gmail.com - ORCID ID : 0009-0002-1936-5758

Doç. Dr. Özgür EKEN

İnönü Üniversitesi,

ozgur.eken@inonu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0002-5488-3158

Prof. Dr. Betül AKYOL

İnönü Üniversitesi,

betul.akyol@inonu.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-3836-1317

ÖZET

Kadınların düzenli fitness ve direnç antrenmanına katılımı son on yılda belirgin biçimde artmış olmasına rağmen, bu katılımın çift düzeyindeki ilişkisel yansımaları büyük ölçüde aydınlatılmamıştır. Mevcut alanyazın iki uçta yoğunlaşmıştır: bir yanda elit sporcuların romantik partnerlerinin yaşadığı stres deneyimleri, diğer yanda bireysel düzeyde egzersiz motivasyonu ve beden imajı. Aradaki boşluk, yani ciddi biçimde fitness yapan rekreasyonel kadınların spor yapmayan partnerleriyle gündelik ilişkilerini nasıl yürüttükleri, kuramsal olarak ele alınmamış bir alandır. Bu makale, bu boşluğu doldurmak amacıyla ilişki bilimi, egzersiz psikolojisi, sosyal/evrimsel psikoloji ile feminist beden çalışmaları alanlarından elde edilen kanıtları bütünleştirir. Araştırmanın literatür taraması, belirlenen anahtar kelimeler kullanılarak Web of Science, Scopus, PubMed, TR Dizin ve Google Scholar veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Çerçeve, kadının fitness uğraşının çift sistemine adeta üçüncü bir aktör olarak girdiğini ve üç ekseninde müzakere gerektirdiğini öne sürer: zaman (antrenmana ayrılan zamanın romantik alanla rekabeti), kıskançlık (değişen beden ve karma cinsiyetli salon ortamının uyandırdığı eş değeri kaygıları) ve yakınlık (beden imajı, cinsel öz-saygı ve özerklik-

bağlılık dengesinin yeniden kurulması). Bütünleştirici model, bu eksenlerin bilişsel değerlendirme, ikili (diydik) baş etme ve sınır yönetimi süreçleri aracılığıyla hem ilişki doyumunu hem de egzersizin sürdürülebilirliğini şekillendirdiğini ileri sürer ve sınanabilir önermeler sunar. Makale, diydik günlük (daily diary), boylamsal ve niteliksel desenlere dayalı bir araştırma gündemiyle ve hem çiftlere hem de fitness sektörüne yönelik uygulama çıkarımlarıyla son bulur.

Anahtar Kelimeler: Kadın Fitness Katılımı, Romantik İlişkiler, Diydik Baş Etme, Kıskançlık, Beden İmajı, Boş Zaman Müzakeresi, Egzersiz Kimliği

**NEGOTIATING TIME, JEALOUSY, AND INTIMACY IN THE ROMANTIC
RELATIONSHIPS OF FITNESS-ENGAGED WOMEN: AN INTEGRATIVE
CONCEPTUAL FRAMEWORK IN THE CONTEXT OF NON-EXERCISING
PARTNERS**

ABSTRACT

Although women's participation in regular fitness and resistance training has increased significantly over the past decade, the relational implications of this participation at the couple level remain largely unexplored. The existing literature has focused on two extremes: on the one hand, the stress experiences of elite athletes' romantic partners, and on the other, exercise motivation and body image at the individual level. The gap in between-namely, how recreational women who engage in serious fitness activities navigate their daily relationships with non-exercising partners-remains a theoretically unexplored area. This article aims to fill this gap by integrating evidence from relationship science, exercise psychology, social/evolutionary psychology, and feminist body studies. The literature review for this study was conducted using the identified keywords in the Web of Science, Scopus, PubMed, TR Dizin, and Google Scholar databases. The framework argues that a woman's fitness pursuit effectively enters the dual system as a third actor and requires negotiation along three axes: time (the competition between time allocated to training and the romantic sphere), jealousy (anxiety about loss of equality triggered by the changing body and the gender-mixed gym environment), and intimacy (reestablishing body image, sexual self-esteem, and balancing autonomy and attachment). The integrative model posits that these axes shape both relationship satisfaction and exercise sustainability through cognitive evaluation, dyadic coping, and

boundary management processes, and presents testable propositions. The article concludes with a research agenda based on dyadic daily diaries, longitudinal and qualitative designs, and practical implications for both couples and the fitness industry.

Keywords: Women’s Fitness Participation, Romantic Relationships, Dyadic Coping, Jealousy, Body Image, Exercise Identity

1. GİRİŞ

Fitness, son yıllarda kadınların gündelik yaşamının merkezine yerleşen kültürel ve bedensel bir pratiğe dönüşmüştür. Salon üyeliklerindeki artış ve direnç antrenmanının kadınlar arasında yaygınlaşması, yalnızca bir sağlık davranışı değil, aynı zamanda kimlik, benlik sunumu ve toplumsal cinsiyet normlarının yeniden müzakere edildiği bir alan üretmektedir (Cowley vd., 2025; Deininger vd., 2025). Bununla birlikte, egzersiz davranışı boşlukta gerçekleşmez; çoğu yetişkin için fiziksel aktivite, bir romantik ilişkinin paylaşılan zamanı, kaynakları ve duygusal ekonomisi içine gömülüdür (Berli vd., 2018; Dobson vd., 2022). Egzersizin çift sistemiyle iç içe geçen bu doğası, kadın fitness katılımının ilişkisel sonuçlarını sormayı zorunlu kılar.

Mevcut bilgi birikimi bu soruya doğrudan yanıt vermekte yetersizdir; çünkü alanyazın iki ayrı ve büyük ölçüde birbirine değmeyen kümede gelişmiştir. Birinci küme, sporun uç biçimlerine odaklanır: Kent, McKenna ve Mellalieu (2025), profesyonel sporcuların romantik partnerlerinin deneyimini “ip cambazlığı” metaforuyla çözümler ve partnerlerin romantik alanı korumak, fedakârlıkları yönetmek ve antrenman takvimlerinin getirdiği belirsizlikle baş etmek zorunda kaldığını gösterir. Bu çalışmadaki dinamikler, sporun bir meslek olduğu ve partnerin kendisinin sporcu olmadığı asimetrik bir bağlamda kuruludur. İkinci küme ise bireysel düzeyde kalır: Vuckovic ve Duric (2024), fitness motivasyonunun cinsiyet ve ilişki durumuna göre nasıl farklılaştığını ortaya koyar; Snani ve arkadaşları (2024), fiziksel aktivite, beden imajı, cinsel öz-saygı ve evlilik doyumu arasındaki bağıntıları modeller. Bu çalışmalar değerli olmakla birlikte, ilişkiyi çoğunlukla bireysel bir yordayıcı değişken olarak ele alır ve çift içi müzakere sürecini açmaz.

Bu iki küme arasında kavramsal bir boşluk vardır. Rekabetçi olmayan, ancak fitnessı yaşamının önemli bir parçası hâline getirmiş kadınların; üstelik bu uğraşı paylaşmayan, kendisi düzenli egzersiz yapmayan partnerleriyle ilişkilerini nasıl yürüttüğü sistematik biçimde kuramsallaştırılmamıştır. Oysa tam da bu yapılanma, çağdaş çiftlerin oldukça yaygın bir

gerçekliğıdir: bir tarafın bedenini, zamanını ve sosyal çevresini dönüştüren bir uğraş bağlanması, diğer tarafın bu dönüşümün dışında kalmasıdır. Bu makale, söz konusu boşluğu doldurmayı ve “fitness yapan kadın - spor yapmayan partner” diyadını kendine özgü bir analiz birimi olarak öneren bütünleştirici bir kavramsal çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

Çerçevenin merkezî sezgisi şudur: Ciddi bir fitness uğraşı, çiftin gündelik yaşamına âdeta görünmez üçüncü bir taraf olarak girer. Antrenman, zaman üzerinde hak iddia eder; değişen beden, eş değeri (mate value) algılarını ve dolayısıyla kıskançlık dinamiklerini harekete geçirir; bu bedenle kurulan yeni ilişki ise cinsel ve duygusal yakınlığı yeniden tanımlar. Bu üç eksen birbirinden bağımsız değildir; çiftin bunları müzakere etme biçimi, hem ilişkinin doyumunu hem de kadının egzersizi sürdürebilmesini eşzamanlı olarak belirler.

Makalenin katkısı üç düzeydedir. Kuramsal düzeyde, birbirinden kopuk dört alanyazını (ilişki bilimi, egzersiz psikolojisi, evrimsel/sosyal psikoloji ve feminist beden çalışmaları) ortak bir çerçevede bir araya getirir. Olgusal düzeyde, ihmal edilmiş bir diyad türünü görünür kılar. Yöntemsel düzeyde ise, ileride sınanabilecek somut önermeler ve diyadik bir araştırma gündemi üretir.

2. ÇERÇEVENİN NİTELİĞİ VE KAPSAMI

Bu çalışma bir kavramsal/bütünleştirici derlemedir; özgün ampirik veri üretmemekte, mevcut kanıtları yeni bir kuramsal yapıda örgütlemektedir. Dolayısıyla burada sunulan model, sınanmış bir kuram değil, sınanmaya açık bir öneriler bütünüdür. Çerçeve dört çekirdek kaynak (Kent vd., 2025; Okyere vd., 2025; Snani vd., 2024; Vuckovic & Duric, 2024) çevresinde inşa edilmiş; ardından ilişki bilimi, egzersiz psikolojisi, evrimsel ve sosyal psikoloji ile feminist beden çalışmalarından akran değerlendirmesinden geçmiş çalışmalarla genişletilmiştir. Analiz birimi, heteroseksüel bir bağlamda düzenli ve yoğun fitness yapan kadın ile kendisi düzenli egzersiz yapmayan erkek partnerden oluşan diyaddır. Bu sınırlama, kavramsal netlik içindir; çerçevenin eşcinsel çiftlere, her iki tarafın da egzersiz yaptığı diyadlara ve farklı kültürel bağlamlara uyarlanması, ileri araştırmaların konusu olarak ele alınmaktadır.

3. KURAMSAL ZEMİN

Çerçeve beş kuramsal eksen üzerinde yükselir. Bunlar, üç müzakere alanını birbirine bağlayan ortak dili sağlar.

İşlemsel stres ve değerlendirme: Lazarus ve Folkman’ın (1984) işlemsel stres kuramında stres, kişi ile çevre arasındaki sürekli ve dinamik bir alışverişten doğar; bir uyarının stres verici

olup olmadığını belirleyen, onun bizzat kendisi değil, kişinin onu nasıl değerlendirdiğidir. Kent ve arkadaşları (2025) bu çerçeveyi sporcu partnerlerine uygulayarak, aynı antrenman takviminin kimi partner için tehdit, kimi için fırsat olarak değerlendirilebildiğini göstermiştir. Bu mantık, fitness yapan kadının partneri için de geçerlidir: kadının salonda geçirdiği zaman, partner tarafından “ilişkiden çalınan zaman” olarak da, “onu daha mutlu ve sağlıklı kılan zaman” olarak da değerlendirilebilir.

Diyadik baş etme: Bodenmann’ın (2005) diyadik baş etme kuramı, stresin çiftlerde bireysel değil, ortak bir süreç olarak ele alınmasını gerektirir. Stres, bir partnerden diğerine “taşar” ve baş etme genellikle ortaklaşa kurulur. Kent ve arkadaşları (2025) sporcu partnerlerinde problem odaklı, ortak diyadik, destekleyici diyadik ve özellikle koruyucu tamponlama (protective buffering) gibi stratejilerin işlediğini saptamıştır. Koruyucu tamponlama, yani partneri üzmemek için endişeleri saklamak, kısa vadede koruyucu görünse de uzun vadede psikolojik sıkıntıyı artırabilir (Coyne & Smith, 1991). Bu kavramlar, fitness diyadındaki müzakerenin de tam kalbinde yer alır.

Özerklik-bağlılık dengesi: Öz-belirleme kuramı (Deci & Ryan, 2000), insanların özerklik, yetkinlik ve ilişkili olma temel gereksinimlerini vurgular. Romantik ilişkilerde sağlıklı işleyiş, çoğu zaman özerklik ile yakınlık arasında bir denge kurma becerisine bağlanır. Stapley ve arkadaşları (2020), boş zamanın partnerle ve partner olmadan nasıl dengelendiğinin “benliğin farklılaşması” ile ilişkili olduğunu ve çift boş zaman doyumunun ilişki uyumunu yordadığını göstermiştir. Fitness, kadın için güçlü bir özerklik ve yetkinlik kaynağıdır; çerçeve, bu kişisel kazanımın ilişkideki bağlılık gereksinimiyle nasıl uzlaştırıldığını sorar.

Nesneleştirme kuramı: Fredrickson ve Roberts (1997), kadınların bedenlerini dışarıdan bir gözle, değerlendirilecek bir nesne olarak görmeye yönlendiren kültürel bir bağlamda yaşadığını öne sürer. Salon, bu sürecin yoğunlaştığı bir mekândır: Cowley ve arkadaşları (2025) kadınların salonda “her zaman sergileniyor” olma duygusu yaşadığını ve görünüş ile performans bakımından sürekli yargılandıklarını hissettiklerini ortaya koymuştur. Bu kuram, hem kadının kendi bedeniyle ilişkisini hem de partnerin bu değişen bedeni nasıl algıladığını anlamak için gereklidir.

Eş değeri ve eş elde tutma: Evrimsel sosyal psikolojide kıskançlık, değer verilen bir ilişkinin tehdit altında olduğu algısına verilen ve eş elde tutmaya (mate retention) yönelik davranışları harekete geçiren bir tepki olarak kavramsallaştırılır (Buss, 1988). Önemli bir bulgu, bir diyad içinde çekicilik bakımından eşitsizliğin eş elde tutma davranışlarını artırmasıdır: kendinden

daha çekici bir partnere sahip bireyler daha fazla cins içi elde tutma taktiği sergiler (Oltmanns vd., 2017). Bu, fitness diyadı için doğrudan bir mekanizma önerir; çünkü fitness, kadının algılanan eş değerini yükseltebilir ve böylece çift içindeki çekicilik dengesini kaydırabilir.

4. BİRİNCİ EKSEN: ZAMANIN MÜZAKERESİ

4.1. Egzersizin zaman talebi ve kimlikleşmesi

Fitness, kendine özgü bir zaman ekonomisi dayatır. Antrenmanlar, hazırlık, ulaşım ve toparlanma birlikte düşünüldüğünde, ciddi bir uğraş haftalık zamanın kayda değer bir dilimini soğurur. Bu zaman talebi, egzersizin kişinin benlik tanımına yerleşmesiyle birlikte daha da belirginleşir. Egzersiz kimliği güçlendikçe, davranışın sürekliliği artar; ancak aynı kimlikleşme, egzersize bağımlılık belirtilerinin de habercisi olabilir (Murray vd., 2013). Lu ve arkadaşları (2012), egzersiz kimliği ile bağımlılık arasındaki ilişkiye egzersiz bağlanmasının aracılık ettiğini, özellikle “yapmak zorundayım” biçimindeki zorunluluk temelli bağlanmanın belirleyici olduğunu göstermiştir. Vítková ve arkadaşları (2025) ise atletik kimliğin, nevrotiklik ve içe yansıtılmış düzenleme ile birlikte egzersiz bağımlılığını yordadığını saptamıştır. Bu bulgular, kadının fitness uğraşının yalnızca bir hobi değil, zaman üzerinde giderek katılaştıran bir hak iddiası hâline gelebileceğini gösterir; ve tam da bu nokta, partnerle zaman müzakeresinin gerilim hattını oluşturur.

4.2. Romantik alanın daralması

Kent ve arkadaşlarının (2024) “romantik alanda yol bulma” teması, burada doğrudan uygulanabilir. Çalışmadaki partnerler, antrenman takvimlerinin çiftin ortak zamanını (akşam yemekleri, gezi, hafta sonu kaçamakları) kısıtladığını ve bazen “katı ve öngörülebilir” bir hâl alarak kendiliğindenliği yok ettiğini dile getirmiştir. Spor yapmayan partnerin gözünden bakıldığında, kadının düzenli antrenman saatleri, ortak romantik alanı daraltan öngörülebilir ama esnek olmayan bir yapı olarak deneyimlenebilir. Kent ve arkadaşlarının (2024) saptadığı sporu bölmeleme (compartmentalizing) stratejisi, yani ilişki alanını sporla ilgili konuşmalardan ve zihinsel meşguliyetten arındırma çabası, fitness diyadı için de koruyucu bir mekanizma olabilir.

4.3. Boş zaman bilimi ve kadının “uyum sağlama” eğilimi

İlişki bilimi, boş zamanın nasıl geçirildiğinin evlilik doyumu için kritik olduğunu uzun süredir belgelemektedir. Smith ve arkadaşları (1988), partner dışında geçirilen bireysel etkinliklerin

evlilik sıkıntısıyla ilişkili olduğunu ve bu ilişkinin kadınlar için erkeklere kıyasla yaklaşık iki kat güçlü olduğunu bulmuştur. Benzer biçimde Dobson ve arkadaşları (2022), partnerle birlikte geçirilen boş zamanın ilişki kalitesini olumlu, başkalarıyla (partnersiz) geçirilen boş zamanın ise olumsuz yordadığını göstermiştir. Bu bulgular, fitness için ikili bir okuma sunar: salon, çoğu zaman partnersiz geçirilen bireysel bir etkinlik olduğundan, ilişki kalitesi açısından bir risk taşıyabilir; ancak risk, etkinliğin türünden çok, çiftin onu nasıl çerçevelediğine bağlıdır.

Burada toplumsal cinsiyetli bir örüntü devreye girer. Herridge ve arkadaşları (2003), kadınların romantik ilişkilerde boş zamanlarını sıklıkla partnerlerinin istek ve ihtiyaçlarına uyum sağlayarak yapılandırıldığını ve partner dışı boş zamanlarına yönelik kısıtlamalar yaşadığını ortaya koymuştur. Bu örüntü, fitness yapan kadın için özgül bir gerilim üretir: Kişisel bir özerklik ve yetkinlik kaynağı olan antrenman zamanı ile ilişkiye uyum sağlama yönündeki normatif baskı arasında bir müzakere yürütmek zorunda kalır. Stapley ve arkadaşlarının (2020) gösterdiği gibi, bu dengeyi kurabilen, yani benliğini farklılaştırabilen bireylerde düşük çift boş zaman doyumunun ilişkiye verdiği zarar tamponlanmaktadır.

4.4. Çatışmanın içeriği ve biçimi

Zaman müzakeresi her zaman açık çatışmaya dönüşmez, ancak dönüştüğünde önemli olan çatışmanın konusudur. Meyer ve arkadaşları (2022), “zaman yönetimi” ve “birlikte nitelikli zaman” gibi konuların çiftlerin sık dile getirdiği çatışma başlıkları arasında olduğunu; ilginç biçimde zaman yönetimi çatışmalarının işlevsiz çatışma davranışlarının azalmasıyla ilişkili olduğunu bulmuştur. Hogan ve arkadaşları (2021) ise birlikte tartışarak geçirilen zamanın doyumu düşürdüğünü, konuşarak geçirilen zamanın ise yakınlığı ve olumlu nitelikleri artırdığını göstermiştir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, fitnessın yarattığı zaman geriliminin sonucunu belirleyen gerilimin varlığı değil, çiftin onu müzakere etme biçimi olduğu anlaşılır.

5. İKİNCİ EKSEN: KISKANÇLIĞIN MÜZAKERESİ

5.1. Değişen beden ve eş değeri dengesinin kayması

Fitnessın en görünür sonucu, bedenin dönüşmesidir. Bu dönüşüm, romantik ilişkide eş değeri algılarını harekete geçirebilir. Evrimsel sosyal psikolojinin sağlam bir bulgusu, bir diyard içindeki çekicilik eşitsizliğinin eşi elde tutma davranışlarını artırmasıdır: Oltmanns ve arkadaşları (2017), kendisinden daha çekici bir partnere sahip bireylerin daha fazla cins içi elde tutma taktiği kullandığını göstermiştir. Bu çerçeveden bakıldığında, fitness yoluyla algılanan

eş değerini yükselten bir kadın, partnerinde - özellikle partner kendi eş değerini görece düşük algılıyorsa - kıskançlık ve elde tutma davranışlarını tetikleyebilir. Snani ve arkadaşlarının (2024) beden görünümünün öz-saygı ve doyum üzerindeki güçlü etkilerine ilişkin bulguları, bedensel dönüşümün ilişkisel olarak nötr bir olay olmadığını destekler niteliktedir.

5.2. Salon: karma cinsiyetli bir “sergi” mekânı

Kıskançlık mekanizmasını yoğunlaştıran ikinci etmen, salonun toplumsal niteliğidir. Salonlar çoğunlukla karma cinsiyetli, bedenin görünür kılındığı ve sosyal karşılaştırmanın yoğun olduğu ortamlardır. Cowley ve arkadaşları (2025), kadınların salonda “her zaman sergileniyor” olma, alan için mücadele etme ve erkeklerden gelen istenmeyen yorum ve tacizle baş etme deneyimlerini belgelemiştir. Podmore ve arkadaşları (2018), karma ve erkek-egemen bir CrossFit ortamının kadınların beden imajını ve görünüş yönetimi pratiklerini nasıl biçimlendirdiğini göstermiştir. Spor yapmayan partnerin gözünden salon, partnerinin başka erkeklerle aynı mekânı paylaştığı, bedenlerin sergilendiği ve kendisinin dışında kaldığı bir sosyal alan olarak algılanabilir. Bu algı, kıskançlığın bilişsel bileşenini (rakip varlığına ilişkin düşünceler) besleyebilir.

5.3. Kadının kendi kıskançlığı ve görünüş artırma çabası

Kıskançlık tek yönlü değildir. Arnocky ve arkadaşları (2020), kadınların yukarı yönlü fiziksel görünüş karşılaştırmaları ile eşi elde tutma davranışları arasındaki ilişkiye kıskançlığın aracılık ettiğini; Arnocky ve arkadaşları (2023) ise kadınların romantik kıskançlığının riskli görünüş artırma çabalarını (kozmetik girişimler, riskli diyetler vb.) yordadığını göstermiştir. Bu noktada fitness, çift yönlü bir işlev görür. Bir yandan kadının görünüş artırma stratejilerinden biri olabilir; öte yandan salon ortamındaki sosyal karşılaştırma, kadında da kendi eş değerine ilişkin kaygıları yükseltebilir. Degiuli ve arkadaşları (2023), kadınlarda kıskançlığın yalnızca maliyet yükleyici (kısıtlayıcı, kontrol edici) değil, fayda sağlayıcı (sevgi gösterme, ilgi) elde tutma davranışlarıyla da ilişkili olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla kıskançlık, ilişkiyi yıpratıcı bir güç olabileceği gibi, bağlanmayı pekiştiren davranışları da harekete geçirebilir.

5.4. Karanlık yan: kontrol, caydırma ve ilişkisel korku

Kıskançlığın elde tutmaya dönüşmesi, kontrol edici davranışlara kayabilir. Egzersize özgü ilişkisel süreçleri inceleyen Novak ve arkadaşları (2023), egzersiz teşvikinin daha yüksek ilişki doyumuyla, egzersiz konusundaki anlaşmazlıkların ise tüm katılımcılarda daha yüksek psikolojik sıkıntıyla ilişkili olduğunu bulmuştur; dikkat çekici biçimde egzersiz caydırmasının

da daha fazla fiziksel aktiviteyle ilişkili çıkması, partner dinamiklerinin karmaşıklığına işaret eder. Eşsel destek ile eşsel kontrolün fiziksel aktivite üzerindeki ayrışan etkileri de bu ayrımı destekler: destek aktiviteyi artırırken, kontrol ya etkisizdir ya da onu azaltır (Khan vd., 2013).

Bu sürecin en uç ucunda, ilişkisel korku ve zorlayıcı kontrol yer alır. Okyere ve arkadaşları (2025), Kenya’da ulusal temsil gücüne sahip bir örneklemede, partnerinden korkan kadınların egzersize katılım olasılığının daha yüksek olduğunu bularak beklenmedik bir bulgu sunmuştur. Yazarlar bunu, egzersizin bazı kadınlar için bir baş etme mekanizması işlevi görebileceği biçiminde yorumlar. Bu bulgu, çerçeveye kritik bir nüans ekler: Egzersiz, sağlıklı bir özerklik alanı olabileceği gibi, kontrol edici bir ilişkiden geçici bir kaçış alanı da olabilir. Dolayısıyla “kadın neden antrenmana gidiyor?” sorusunun yanıtı, ilişkinin niteliğinden bağımsız okunamaz.

6. ÜÇÜNCÜ EKSEN: YAKINLIĞIN MÜZAKERESİ

6.1. Beden imajından cinsel öz-saygıya giden yol

Yakınlık ekseninin omurgasını, beden imajı ile cinsel ve ilişkisel doyum arasındaki bağ oluşturur. Snani ve arkadaşları (2024), yetişkinlerde olumlu beden görünümünün cinsel öz-saygıyı güçlü biçimde yükselttiğini ve cinsel öz-saygının da evlilik doyumunu yordadığını modellemiştir. Beden görünümünün evlilik doyumunu üzerindeki dolaylı etkisinin kayda değer olması, bedenle kurulan olumlu ilişkinin yatak odasına ve ilişkinin geneline taşıdığını gösterir. Fitness, beden imajını iyileştirme potansiyeli taşıdığı ölçüde, bu yol üzerinden yakınlığı besleyebilir. Deininger ve arkadaşları (2025), fitness yapan kadınlarda dışsal görünüş güdülerinin zamanla özerklik ve iyi oluş temelli içsel güdülere dönüşebildiğini ve egzersizin güçlenme (empowerment) ve öz-sevgi duygularını desteklediğini göstermiştir.

6.2. Bir paradoks: fiziksel aktivitenin doğrudan olumsuz etkisi

Buna karşın, aynı çalışmadaki bir bulgu uyarıcıdır. Snani ve arkadaşları (2024), beden görünümünün evlilik doyumunu üzerindeki dolaylı etkisi olumluyken, fiziksel aktivitenin evlilik doyumunu üzerindeki doğrudan etkisinin negatif olduğunu (yaklaşık - 0,21) raporlamıştır. Bu paradoks, çerçevenin merkezî sezgisini ampirik olarak destekler: Fitness, ilişkiye iki kanaldan girer. Beden imajı üzerinden yakınlığı beslerken, etkinliğin kendisi, yani ona ayrılan zaman ve enerji üzerinden ilişki doyumunu zorlayabilir. Bu, fitnessın ilişki için ne kategorik olarak “iyi” ne de “kötü” olduğunu; etkisinin, hangi kanalın baskın geldiğine ve çiftin müzakeresine bağlı olduğunu gösterir.

6.3. Birlikte hareket etmenin bağlayıcı gücü ve “spor yapmayan partner” sorunu

İlişki bilimi, birlikte egzersiz yapmanın güçlü bir bağlayıcı etkisi olduğunu göstermektedir. Sackett-Fox ve arkadaşları (2021), partnerle birlikte egzersiz yapılan günlerde hem egzersiz sırasındaki olumlu duygulanımın hem de günlük ilişki doyumunun arttığını bulmuştur. Berli ve arkadaşları (2018), çiftlerin etkinliklere ortak katılımının destekleyici etkilerin yaklaşık yarısını açıkladığını göstermiştir. Bu makalenin odağındaki diyadin tanımlayıcı özelliği, partnerin birlikte egzersiz yapmamasıdır. Barnett ve arkadaşları (2013), çiftlerde paylaşılan fiziksel aktivitenin aslında nadir olduğunu ve egzersizin büyük ölçüde bireysel bir alışkanlık olarak sürdürüldüğünü; ayrıca kadınların etkinlikten beklentilerinin (sosyalleşme, rahatlama) erkeklerinkinden (kişisel meydan okuma) farklılaşabildiğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla “birlikte egzersizin” bağlayıcı potansiyeli, spor yapmayan partnerle diyadda büyük ölçüde devre dışı kalır; bu da yakınlığın başka kanallardan (ortak nitelikli zaman, duygusal ifade, cinsel doyum) müzakere edilmesini zorunlu kılar.

6.4. “Hissedilme” ve özerklik-yakınlık dengesi

Kent ve arkadaşları (2025), partnerlerin dengeyi koruyabilmesinin merkezinde “hissedilme” (feeling felt) duygusunun, yani anlaşıldığını ve değer gördüğünü hissetmenin yer aldığını vurgular. Fitness diyadında yakınlığın müzakeresi de büyük ölçüde bu ekseninde döner: Kadının fitness uğraşının partner tarafından bir tehdit değil, kimliğinin meşru ve değerli bir parçası olarak tanınması, özerklik ile yakınlığın uzlaşmasını mümkün kılar. Stapley ve arkadaşlarının (2020) gösterdiği özerklik-yakınlık dengesi ile öz-belirleme kuramının (Deci & Ryan, 2000) ilişkili olma gereksinimi burada birleşir: İlişki, kadının özerk uğraşını destekleyebildiği ölçüde, bu uğraş yakınlığı tehdit etmek yerine besleyebilir.

7. BÜTÜNLEŞTİRİCİ ÇERÇEVE: “MÜZAKERE EDİLEN ÜÇÜNCÜ BEDEN” MODELİ

Üç eksen birbirinden bağımsız işlemez; ortak bir süreç mimarisini paylaşırlar. Önerilen model, fitness yapan kadın - spor yapmayan partner diyadında egzersizin ilişkisel sonuçlarını dört aşamalı bir süreç olarak kavramsallaştırır.

(1) Girdi: Üçüncü tarafın özellikleri: Kadının fitness uğraşının yoğunluğu, zaman talebi, kimikleşme derecesi (Lu vd., 2012; Murray vd., 2013) ve bedensel/sosyal görünürlüğü (Cowley vd., 2025), diyada giren “üçüncü tarafın” nesnel özelliklerini oluşturur.

(2) Değerlendirme: Her iki partner de bu girdiyi işlemsel olarak değerlendirir (Lazarus & Folkman, 1984): tehdit mi (zaman kaybı, rakip varlığı, eş değeri eşitsizliği) yoksa fırsat mı (sağlık, çekicilik, iyi oluş)? Değerlendirme, partnerin kendi eş değeri algısından (Oltmanns vd., 2017), bağlanma örüntülerinden ve ilişkinin önceki niteliğinden etkilenir.

(3) Müzakere stratejileri: Değerlendirmeye bağlı olarak çift, bir dizi diyadik strateji devreye sokar: destekleyici diyadik baş etme ve egzersiz teşviki (Berli vd., 2018; Novak vd., 2023), sporu bölmeleme ve sınır yönetimi (Kent vd., 2024), uyum sağlama (Herridge vd., 2003), koruyucu tamponlama (Coyne & Smith, 1991) ve uyarlanmamış uçta kontrol/caydırma (Khan vd., 2013; Okyere vd., 2025).

(4) Çıktılar: Bu stratejiler iki sonucu eşzamanlı belirler: ilişki doyumu ve egzersizin sürdürülebilirliği. Modelin temel iddiası, bu iki çıktının çoğu zaman aynı müzakerenin işlevi olmasıdır; iyi yönetilen bir müzakere her ikisini birden yükseltirken, kötü yönetilen bir müzakere ya ilişkiyi ya da kadının özerk uğraşını feda etme baskısı üretir.

Bu mimari temelinde, sınanabilir altı önerme sunulmaktadır:

- **Ö1:** Kadının egzersiz kimliğinin gücü ve zaman talebi arttıkça, çiftte zaman temelli çatışma olasılığı artar; ancak bu ilişkiye sporu bölmeleme ve sınır yönetimi stratejileri aracılık eder (Kent vd., 2025; Lu vd., 2012).
- **Ö2:** Diyad içindeki algılanan çekicilik eşitsizliği büyüdükçe, partnerin kıskançlık ve elde tutma davranışları artar; bu etki, partnerin kendi eş değeri algısı düşük olduğunda güçlenir (Oltmanns vd., 2017).
- **Ö3:** Egzersiz teşviki ilişki doyumunu olumlu, egzersiz konusundaki anlaşmazlık ve kontrol ise olumsuz yordar (Khan vd., 2013; Novak vd., 2023).
- **Ö4:** Fitnessin ilişki doyumu üzerindeki etkisi tek yönlü değildir: beden imajı kanalı üzerinden olumlu (dolaylı), zaman/enerji kanalı üzerinden olumsuz (doğrudan) bir etki eşzamanlı işler (Snani vd., 2024).
- **Ö5:** Kadının özerk fitness uğraşının partner tarafından tanınması (“hissedilme”), özerklik-yakınlık dengesini kolaylaştırır ve hem ilişki doyumunu hem de egzersiz sürdürülebilirliğini artırır (Deci & Ryan, 2000; Kent vd., 2025; Stapley vd., 2020).
- **Ö6:** İlişkisel korku ve kontrolün yüksek olduğu diyadlarda egzersiz, paradoksal biçimde bir baş etme/kaçış alanı işlevi görebilir; bu nedenle yüksek egzersiz katılımı tek başına sağlıklı bir ilişkinin göstergesi olarak okunamaz (Okyere vd., 2025).

8. ARAŞTIRMA GÜNDEMİ

Önerilen çerçeve, doğası gereği sınanmayı bekleyen bir yapıdır. Aşağıdaki yönelimler, alanın ilerlemesi için somut bir gündem sunar.

İlk öncelik, diydik desenlerdir. Hem kadının hem partnerin verilerinin Aktör-Partner Karşılıklı Bağımlılık Modeli (APIM) ile çözümlenmesi, “kimin değerlendirmesinin kimin doyumunu yordadığını” ayırt etmeyi sağlar. İkinci olarak, günlük günce (daily diary) çalışmaları, antrenman günlerinde zaman, duygulanım ve doyumun nasıl dalgalandığını yakalayabilir; nitekim hem Berli ve arkadaşları (2018) hem Sackett-Fox ve arkadaşları (2021) bu yöntemin gücünü göstermiştir. Üçüncü olarak, boylamsal desenler, beden dönüşümünün ve kimikleşmenin ilişki yörüngesini zaman içinde izleyebilir. Dördüncü olarak, Kent ve arkadaşlarının (2024) örnek aldığı yorumlayıcı fenomenolojik analiz gibi niteliksel yaklaşımlar, spor yapmayan partnerin kendi anlam dünyasını -ki bu makalede kuramsal olarak öngörülmüştür- doğrudan açığa çıkarabilir.

Ölçüm düzeyinde, egzersiz kimliği, egzersiz bağımlılığı, çok boyutlu kıskançlık, eşi elde tutma envanteri, çift boş zaman doyumunu, benliğin farklılaşması ve beden imajı/cinsel öz-saygı araçlarının bir arada kullanılması önerilir. Son olarak, çerçevenin kültürel ve yapısal sınırları sınanmalıdır: Okyere ve arkadaşlarının (2025) Sahra-altı Afrika bağlamındaki bulgusu ile yüksek gelirli Batılı örneklerdeki dinamiklerin karşılaştırılması, “fitness-ilişki” bağının kültürel olarak nasıl koşullandığını gösterecektir.

9. UYGULAMAYA YÖNELİK ÇIKARIMLAR

Çiftler için: Çerçeve, zaman gerilimi söz konusu olduğunda çatışmanın kaçınılmaz olmadığını; belirleyicinin müzakere biçimi olduğunu vurgular (Hogan vd., 2021; Meyer vd., 2022). Açık iletişim, antrenman programının öngörülebilir kılınması ve sporu bölmeyle romantik alanı koruma, uygulanabilir stratejilerdir. Birlikte egzersizin mümkün olmadığı diyalarda yakınlık, ortak nitelikli zaman ve duygusal ifade gibi başka kanallardan beslenmelidir.

Uygulamacılar için: Egzersiz danışmanları ve çift terapistleri, fitnessı bir ilişki değişkeni olarak ele almaktan yarar görür. Egzersiz teşvikini güçlendirmek, kontrol edici “destekten” ayırt edilmelidir (Khan vd., 2013; Novak vd., 2023). Ayrıca uygulamacılar, yüksek egzersiz katılımının kimi zaman ilişkisel sıkıntının bir göstergesi olabileceği konusunda dikkatli olmalıdır (Okyere vd., 2025).

Fitness sektörü için: Salonların karma cinsiyetli “sergi” ortamı, kadınlar için yargılanma, taciz ve güvenlik kaygıları üretmektedir (Cowley vd., 2025). Daha kapsayıcı ve güvenli salon kültürleri tasarlamak, yalnızca kadının deneyimini değil, dolaylı olarak partnerle yürütülen kıskançlık müzakeresinin koşullarını da iyileştirebilir.

10. SINIRLILIKLAR

Bu çalışma kavramsal bir öneridir; sunulan model henüz ampirik olarak sınanmamıştır ve önermeler hipotez düzeyindedir. Çerçeve, kavramsal netlik adına heteroseksüel ve asimetrik (kadın spor yapan, erkek yapmayan) bir diyada odaklanmıştır; eşcinsel çiftlere, her iki tarafın da egzersiz yaptığı diyadlara ve farklı toplumsal cinsiyet yapılanmalarına genellenebilirliği gösterilmemiştir. Dayanılan kanıt tabanı ağırlıklı Batılı ve yüksek/orta gelirli bağlamlardan gelmekte, bu da kültürel temsil açısından bir sınırlılık oluşturmaktadır. Ek olarak, dört çekirdek çalışmanın hiçbirisi doğrudan bu diyadı incelememiş; çerçeve, bitişik alanlardan çıkarımsal olarak inşa edilmiştir. Bu durum, hem önerilen modelin özgünlüğünü hem de doğrulanması gereken varsayımsal niteliğini birlikte ortaya koyar.

11. SONUÇ

Fitness yapan kadınların spor yapmayan partnerleriyle ilişkileri, ne salt bireysel bir sağlık davranışı ne de elit sporcu ilişkilerinin küçültülmüş bir kopyasıdır; kendine özgü dinamikleri olan, ihmal edilmiş bir olgudur. Bu makale, söz konusu ilişkilerin üç ekseninde -zaman, kıskançlık ve yakınlık- süren bir müzakere olduğunu ve fitness uğraşının diyada âdeta üçüncü bir taraf olarak girdiğini öne süren bütünleştirici bir çerçeve sunmuştur. Çerçevenin temel önermesi sadedir ama sonuçları geniştir: Fitnessın bir ilişki için iyi mi yoksa kötü mü olduğu, etkinliğin kendisinden değil, çiftin onu nasıl değerlendirdiğinden, hangi kanalın baskın geldiğinden ve müzakerenin nasıl yürütüldüğünden doğar. Kadının özerk bedensel uğraşının ilişki içinde tanınması, hem o ilişkiyi hem de uğraşı aynı anda ayakta tutabilir. Bu çerçevenin diyadik ve boylamsal desenlerle sınanması, hem ilişki bilimine hem de kadın sağlığının sürdürülebilirliğine kayda değer bir katkı sunacaktır.

KAYNAKÇA

Arnocky, S., & Locke, A. (2020). Jealousy mediates the link between women’s upward physical appearance comparison and mate retention behavior. *Evolutionary Psychology*, 18(4), 1474704920973990.

- Arnocky, S., MacKinnon, M., Clarke, S., McPherson, G., & Kapitanchuk, E. (2023). Women's romantic jealousy predicts risky appearance enhancement effort. *Evolutionary Psychology*, 21(3), 14747049231185782.
- Barnett, I., Guell, C., & Ogilvie, D. (2013). How do couples influence each other's physical activity behaviours in retirement? An exploratory qualitative study. *BMC Public Health*, 13(1), 1197.
- Berli, C., ve ark. (2018). Interpersonal processes of couples' daily support for goal pursuit: The example of physical activity. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 44(3), 332-344
- Bodenmann, G. (2005). Dyadic coping and its significance for marital functioning.
- Buss, D. M. (1988). From vigilance to violence: Tactics of mate retention in American undergraduates. *Ethology and Sociobiology*, 9(5), 291-317.
- Cowley, E. S., & Schneider, J. (2025). "I sometimes feel like I can't win!": An exploratory mixed-methods study of women's body image and experiences of exercising in gym settings. *PLoS One*, 20(1), e0316756.
- Coyne, J. C., & Smith, D. A. (1991). Couples coping with a myocardial infarction: a contextual perspective on wives' distress. *Journal of personality and social psychology*, 61(3), 404.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological inquiry*, 11(4), 227-268.
- Degiuli, P., Andreis, L., & Vučenović, D. (2023). The relationship between jealousy and mate retention strategies in romantic relationships among women during the COVID-19 pandemic. *European journal of investigation in health, psychology and education*, 13(12), 2877-2890.
- Deininger, C., Teriba, A. A., & Foley-Nicpon, M. (2025). Objectification and self-determination in fitness: A qualitative investigation of women's motivations for physical exercise. *Social Sciences*, 14(11), 644.
- Dobson, K., & Ogolsky, B. (2022). The role of social context in the association between leisure activities and romantic relationship quality. *Journal of Social and Personal Relationships*, 39(2), 221-244.

- Fredrickson, B. L., & Roberts, T. A. (1997). Objectification theory: Toward understanding women's lived experiences and mental health risks. *Psychology of women quarterly*, 21(2), 173-206.
- Herridge, K. L., Shaw, S. M., & Mannell, R. C. (2003). An exploration of women's leisure within heterosexual romantic relationships. *Journal of Leisure Research*, 35(3), 274-291.
- Hogan, J. N., Crenshaw, A. O., Baucom, K. J., & Baucom, B. R. (2021). Time spent together in intimate relationships: Implications for relationship functioning. *Contemporary family therapy*, 43(3), 226-233.
- Kent, S., McKenna, J., & Mellalieu, S. (2025). Two on a tightrope: The stress experiences of the romantic partners of professional athletes. *Journal of Applied Sport Psychology*, 37(4), 422-445.
- <https://doi.org/10.1080/10413200.2024.2428656>
- Khan, C. M., Stephens, M. A. P., Franks, M. M., Rook, K. S., & Salem, J. K. (2013). Influences of spousal support and control on diabetes management through physical activity. *Health Psychology*, 32(7), 739.
- Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer publishing company.
- Lu, F. J. H., Eva, Y. W., WANG, J. M., Chang, J. N., Huang, M. Y., & WANG, C. H. (2012). Exercisers' identities and exercise dependence: the mediating effect of exercise commitment. *Perceptual and Motor Skills*, 115(2), 618-631.
- Meyer, D., & Sledge, R. (2022). The relationship between conflict topics and romantic relationship dynamics. *Journal of Family Issues*, 43(2), 306-323.
- Murray, A. L., McKenzie, K., Newman, E., & Brown, E. (2013). Exercise identity as a risk factor for exercise dependence. *British Journal of Health Psychology*, 18(2), 369-382.
- Novak, J. R., August, K. J., Wei, M., Gast, J., & Peak, T. (2023). Examining the link between exercise-specific relational processes and physical activity, psychological distress, and relationship satisfaction among heterosexual and gay male couples. *Journal of Health Psychology*, 28(9), 804-817.

Okyere, J., Dosoo, A. K., Ayebeng, C., Duodo, P. A., ve Dickson, K. S. (2025). Fear of intimate partner and women's engagement in exercise: Insights from a national survey in Kenya. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 44, 150.

<https://doi.org/10.1186/s41043-025-00838-x>

Oltmanns, J. R., Markey, P. M., & French, J. E. (2017). Dissimilarity in physical attractiveness within romantic dyads and mate retention behaviors. *Journal of Social and Personal Relationships*, 34(4), 565-577.

Podmore, M., & Ogle, J. P. (2018). The lived experience of CrossFit as a context for the development of women's body image and appearance management practices. *Fashion and Textiles*, 5(1), 1.

Sackett-Fox, K., Gere, J., & Updegraff, J. A. (2021). Better together: The impact of exercising with a romantic partner. *Journal of Social and Personal Relationships*, 38(11), 3078-3096.

Smith, G. T., Snyder, D. K., Trull, T. J., & Monsma, B. R. (1988). Predicting relationship satisfaction from couples' use of leisure time. *American Journal of Family Therapy*, 16(1), 3-13.

Snani, H., Snani, H., Tannoubi, A., Chortane, O. G., ve Azaiez, F. (2024). Balance and deep connections: The impact of physical activity on body and sexual self-esteem, psychological distress, and marital satisfaction among adults. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6, 1343951.

<https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1343951>

Stapley, L. A., & Murdock, N. L. (2020). Leisure in romantic relationships: An avenue for differentiation of self. *Personal Relationships*, 27(1), 76-101.

Vítková, T., Rusnáková, K., & Mudrák, J. (2025). Personality predictors of exercise addiction in competitive sport. *Journal of Sports Sciences*, 43(9), 865-874.

Vuckovic, V., ve Duric, S. (2024). Motivational variations in fitness: A population study of exercise modalities, gender and relationship status. *Frontiers in Psychology*, 15, 1377947.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1377947>

KADINLARDA PİLATES EGZERSİZLERİNİN FİZİKSEL VE PSİKOLOJİK SAĞLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNE YÖNELİK GÜNCEL KANITLARIN İNCELENMESİ

Feray TURAL

İnönü Üniversitesi,

feraytural1@gmail.com - ORCID ID 0009-0001-3361-9585

Doç. Dr. Özgür EKEN

İnönü Üniversitesi,

ozgur.eken@inonu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0002-5488-3158

Doç. Dr. Yahya DOĞAR

İnönü Üniversitesi,

yahya.dogar@inonu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0002-1068-2266

ÖZET

Bu çalışma, kadınlarda Pilates egzersizlerinin fiziksel ve ruhsal sağlık üzerindeki etkilerine ilişkin güncel araştırma bulgularını bir araya getirerek kapsamlı biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Yöntem: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, Cochrane Library ve PEDro veri tabanları, öncelikli olarak 2021-2026 yıllarını kapsayacak şekilde taranmıştır. Hakemli rastgele denetimli çalışmalar, sistematik incelemeler ve istatistiksel sentezler ile alanın klasik bulgularını içeren çalışmalar dâhil edilmiş; Pilates müdahalesinin kadın örnekleminde uygulandığı veya cinsiyete duyarlı sonuçlar sunan çalışmalara öncelik verilmiştir. Bulgular: Mevcut kanıtlar, Pilates egzersizlerinin kadınlarda kas kuvveti ve enduransını, gövde-merkez (core) dayanıklılığını, esnekliği ve dinamik dengeyi anlamlı biçimde geliştirdiğini; fazla kilolu ve obez kadınlarda vücut kütlesi, vücut kitle indeksi ve vücut yağ oranını azalttığını göstermektedir. Pelvik taban kası eğitimine alternatif veya tamamlayıcı olarak uygulanan Pilates, stres üriner inkontinans semptomlarını iyileştirmekte; gebelikte ise doğum ağrısını, eylem süresini ve lumbopelvik ağrıyı azaltarak yaşam kalitesine katkı sağlamaktadır. Kronik non-spesifik bel ağrısında ağrı ve fonksiyonel yetiyoitimnin azaltılmasında orta düzeyde kanıt mevcuttur. Psikolojik açıdan Pilates ve zihin-beden egzersizleri; anksiyete, depresif belirtiler ve uyku bozukluklarını azaltmakta, yaşam doyumu ve

yaşam kalitesini artırmaktadır. Sonuç: Pilates, kadın sağlığında düşük yaralanma riskli, erişilebilir ve çok boyutlu yararlar sağlayan bir egzersiz yaklaşımıdır. Bununla birlikte küçük örneklem, kısa müdahale süreleri, kör değerlendirme eksiklikleri ve heterojen protokoller, kanıtların kesinliğini sınırlandırmaktadır. Daha büyük örneklemli, uzun izlemli ve standardize protokollü randomize kontrollü çalışmalara gereksinim vardır.

Anahtar Kelimeler: Pilates; kadın sağlığı; fiziksel uygunluk; pelvik taban; yaşam kalitesi; anksiyete; sistematik derleme.

ABSTRACT

Objective: This study aims to provide a comprehensive evaluation of recent research findings regarding the effects of Pilates exercises on physical and psychological health outcomes among women. **Methods:** PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, the Cochrane Library and PEDro were searched, prioritising the period 2021–2026. Peer-reviewed randomised controlled trials, systematic reviews and meta-analyses, together with seminal studies, were included, with priority given to studies in which the Pilates intervention was delivered to women or which reported sex-specific outcomes. **Results:** Current evidence indicates that Pilates significantly improves muscular strength and endurance, core endurance, flexibility and dynamic balance in women, and reduces body weight, body mass index and body fat percentage in overweight and obese women. As an alternative or adjunct to pelvic floor muscle training, Pilates improves stress urinary incontinence symptoms; during pregnancy it reduces labour pain, shortens labour duration and decreases lumbopelvic pain, thereby contributing to quality of life. There is moderate-quality evidence for reductions in pain and functional disability in chronic non-specific low back pain. Psychologically, Pilates and mind-body exercise reduce anxiety, depressive symptoms and sleep disturbance, and enhance life satisfaction and quality of life. **Conclusion:** Pilates is a low-injury-risk, accessible and multidimensional exercise approach for women's health. However, small samples, short intervention durations, lack of blinding and heterogeneous protocols limit the certainty of the evidence. Larger, longer-term, standardised randomised controlled trials are needed.

Keywords: Pilates; women's health; physical fitness; pelvic floor; quality of life; anxiety; systematic review.

1. GİRİŞ

20. Yüzyılın başlarında Joseph Pilates tarafından “Contrology” adıyla geliştirilen Pilates egzersizi; merkezleme (gövde-merkez/“powerhouse”), konsantrasyon, kontrol, kesinlik, akıcılık ve nefes olmak üzere birbirini tamamlayan ilkeler üzerine kuruludur. Yöntem, gövde ve ekstremitelerin çok boyutlu ve ilerleyici hareketlerini, merkezi kas-iskelet sisteminin stabilizasyonu temelinde kontrollü biçimde gerçekleştirmeyi hedefler. Egzersizler hem mat (yer) üzerinde hem de Reformer, Cadillac gibi özelleştirilmiş ekipmanlarla uygulanabilmekte; omurganın nötral pozisyonda korunması ve hareket kalitesi ön planda tutulmaktadır (Aslan, 2019; Vergili, 2012).

Pilates, son yıllarda yalnızca bir fiziksel uygunluk yaklaşımı olarak değil; aynı zamanda yoga, tai chi ve qigong ile birlikte bir “zihin-beden” (mind-body) egzersizi olarak da kavramsallaştırılmaktadır. Bu egzersizlerin ortak özelliği, bedensel hareketi solunum ve dikkat kontrolüyle bütünleştirerek hem fizyolojik hem de psikolojik sistemler üzerinde eş zamanlı etki oluşturabilmesidir (Xu vd., 2024; Makhfudli vd., 2024). Düşük-orta şiddetli, düşük yaralanma riskli ve büyük ölçüde ekipman gerektirmeyen yapısı, Pilates’i farklı yaş ve uygunluk düzeylerindeki bireyler için erişilebilir bir seçenek hâline getirmektedir (Pereira vd., 2022).

Kadınlar, gerek katılımcı profili gerekse fizyolojik ve yaşamsal döngülere bağlı sağlık gereksinimleri açısından Pilates literatüründe öne çıkan bir gruptur. Sedanter yaşam tarzının yaygınlaşması, kadınlarda kas-iskelet sistemi sorunları, vücut kompozisyonu bozuklukları, pelvik taban disfonksiyonları, gebelik ve postpartum döneme özgü gereksinimler ile menopoza dönemindeki hormonal ve psikososyal değişimleri beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, doğum sürecinden menopoza uzanan yaşam döngüsünün farklı evrelerinde kadınların fiziksel ve psikolojik sağlığını destekleyebilecek, güvenli ve sürdürülebilir egzersiz yaklaşımlarına olan ilgi artmaktadır (Gonzaga vd., 2024; Li vd., 2025).

Pilates egzersizlerinin kadınlarda vücut kompozisyonu, esneklik, kuvvet ve psikolojik sağlık üzerindeki etkilerini inceleyen Türkiye kaynaklı çalışmalar (Aslan, 2019; Sanioğlu & Maçkalı, 2021; Vergili, 2012; Çelik & Yıldız, 2026) ile uluslararası randomize kontrollü çalışmalar ve meta-analizler hızla artmaktadır. Ancak bu kanıtların büyük bir kısmı, küçük örneklemli ve heterojen protokollü çalışmalardan oluşmakta; bulgular farklı sağlık çıktıları açısından dağınık biçimde raporlanmaktadır. Dolayısıyla, kadınlara özgü bulguları tek bir çerçevede toplayan, eleştirel bir değerlendirme yapan ve araştırma boşluklarını belirleyen güncel bir senteze ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu derlemenin amacı, kadınlarda Pilates egzersizlerinin (i) fiziksel sağlık (kas kuvveti, endurans, esneklik, denge, vücut kompozisyonu, pelvik taban fonksiyonları, kronik ağrı ve gebelik süreci) ve (ii) psikolojik sağlık (anksiyete, depresyon, stres, uyku, yaşam kalitesi, yaşam doyumu ve ruh sağlığı) üzerindeki etkilerine ilişkin güncel kanıtları ayrı başlıklar altında değerlendirmek; çalışmaların metodolojik güçlü ve zayıf yönlerini tartışmak; araştırma boşluklarını belirleyerek spor bilimleri ve kadın sağlığı alanına yönelik öneriler sunmaktır.

2. YÖNTEM

2.1. Derleme Tipi ve Yaklaşımı

Bu çalışma, sistematik tarama ilkelerinden yararlanan bir narratif (anlatımsal) derleme olarak tasarlanmıştır. Amaç, geniş ve heterojen bir kanıt tabanını kadın sağlığı odağında bütüncül biçimde sentezlemek olduğundan; nicel bir havuzlama (meta-analiz) yerine, mevcut sistematik derleme/meta-analizler ile birincil randomize kontrollü çalışmaların bulgularının kavramsal başlıklar altında bütünleştirildiği eleştirel bir sentez benimsenmiştir.

2.2. Veri Tabanları ve Arama Stratejisi

Literatür taraması; PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, Cochrane Library ve PEDro veri tabanlarında, öncelikli olarak 2021–2026 yayın aralığı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Alanın temelini oluşturan ve güncel tartışmaların dayandığı bazı klasik çalışmalara da bağlamı tamamlamak amacıyla yer verilmiştir. Arama stratejisinde aşağıdaki anahtar kelimeler ve bunların Boole operatörleriyle (AND/OR) oluşturulan kombinasyonları kullanılmıştır:

“Pilates”, “reformer Pilates”, “mat Pilates”, “mind-body exercise”, “women”, “female”, “muscle strength”, “flexibility”, “balance”, “body composition”, “pelvic floor”, “urinary incontinence”, “pregnancy”, “low back pain”, “quality of life”, “anxiety”, “depression”, “well-being”, “randomized controlled trial”, “systematic review”, “meta-analysis”.

2.3. Dâhil Etme ve Hariç Tutma Ölçütleri

Dâhil etme ölçütleri: (i) hakemli dergilerde yayımlanmış olmak; (ii) Pilates (mat ve/veya ekipman temelli) müdahalesinin bir sağlık çıktısıyla ilişkilendirilmesi; (iii) örneklemin kadınlardan oluşması veya cinsiyete duyarlı sonuçların raporlanması; (iv) randomize kontrollü çalışma, sistematik derleme veya meta-analiz tasarımı öncelik verilmesi; (v) İngilizce veya Türkçe dilinde yayımlanmış olmak.

Hariç tutma ölçütleri: (i) tam metnine ulaşamayan çalışmalar; (ii) yöntemi yetersiz tanımlanmış ya da hakem denetiminden geçmemiş kaynaklar; (iii) Pilates dışındaki egzersiz türlerinin etkisini Pilates'ten ayırt edilemeyecek biçimde raporlayan çalışmalar.

2.4. Seçim Süreci

Tarama sonucunda elde edilen kayıtlar başlık ve özet düzeyinde incelenmiş; uygunluk ölçütlerini karşılayanların tam metinleri değerlendirilmiştir. Seçilen çalışmaların künye bilgileri ve dijital nesne tanımlayıcıları (DOI) doğrulanmış, böylece her kaynağın gerçek ve izlenebilir olması güvence altına alınmıştır. Çalışmalar; örneklem özellikleri, müdahale protokolü (süre, sıklık, modalite), karşılaştırma grubu, sonuç ölçümleri ve temel bulgular açısından özetlenerek aşağıdaki başlıklar altında sentezlenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Fiziksel Sağlık Üzerindeki Etkiler

3.1.1. Kas Kuvveti ve Endurans

Pilates protokollerinin gövde-merkez (core) bölgesini hedefleyen yapısı, kas kuvveti ve enduransındaki gelişmeleri açıklayan başlıca mekanizmadır. Yaşlı popülasyonu inceleyen bir sistematik derleme ve meta-analizde, Pilates müdahalelerinin kas kuvveti, mobilite ve fonksiyonel kapasitede anlamlı kazanımlar sağladığı; bu kazanımların düşme riskini azaltmaya katkıda bulunduğu raporlanmıştır (Pereira vd., 2022). Eğitimli kadınlarda yürütülen 10 haftalık bir randomize kontrollü çalışmada, Reformer ve Cadillac ile uygulanan Pilates antrenmanının gövde kas enduransını ve eklem esnekliğini anlamlı biçimde artırdığı; bu uyumların protein takviyesinden bağımsız olarak ortaya çıktığı gösterilmiştir (Karpouzi vd., 2025). Fazla kilolu ve obez kadınlarda 8 haftalık Reformer Pilates uygulamasının üst ekstremitte kavrama kuvvetini ve McGill dayanıklılık test skorlarını anlamlı biçimde geliştirdiği bildirilmiştir (Gökalp & Kırmızıgil, 2025). Türkiye’de sedanter kadınlarda yürütülen güncel bir randomize kontrollü çalışmada da Pilates ve buna eklenen progresif gevşeme ile solunum tekniklerinin gövde kas enduransını artırdığı; gevşeme ve solunum bileşeninin eklendiği deney grubundaki gelişmelerin daha belirgin olduğu saptanmıştır (Çelik & Yıldız, 2026).

3.1.2. Esneklik

Esneklik, Pilates’in en tutarlı biçimde geliştirdiği fiziksel uygunluk bileşenlerinden biridir. Eğitimli kadınlarda otur-uzan testiyle değerlendirilen eklem esnekliğinin Pilates antrenmanı ile anlamlı biçimde arttığı gösterilmiştir (Karpouzi vd., 2025). Sedanter kadınlarda yürütülen

çalışmalarda da Pilates ve gevşeme egzersizlerinin esnekliği iyileştirdiği; bütüncül yaklaşımın bu gelişimi güçlendirdiği bildirilmiştir (Çelik & Yıldız, 2026). Klasik gözlemsel çalışmaların, Pilates'in esnekliği geliştirmede etkili olduğunu ancak vücut kompozisyonu ve duruş üzerindeki etkilerinin daha sınırlı olabileceğini öne süren bulgularıyla birlikte değerlendirildiğinde (Aslan, 2019), esnekliğin Pilates yanıtının görece sağlam bir bileşeni olduğu söylenebilir.

3.1.3. Denge ve Postüral Kontrol

Pilates'in nötral omurga pozisyonu, gövde stabilizasyonu ve kontrollü hareket vurgusu, dinamik denge ve postüral kontrol üzerinde olumlu etkilerle ilişkilendirilmektedir. Yaşlılarda yürütülen meta-analiz, Pilates'in dinamik denge ve aerobik dayanıklılıkta istatistiksel olarak anlamlı gelişmeler sağladığını ve düşme riskini azalttığını ortaya koymuştur (Pereira vd., 2022). Sedanter kadınlarda Y-Denge testiyle ölçülen dinamik denge performansının Pilates ile geliştiği; solunum ve gevşeme tekniklerinin eklenmesiyle bu gelişimin daha da arttığı gösterilmiştir (Çelik & Yıldız, 2026). Bu bulgular, özellikle ileri yaştaki kadınlarda Pilates'in fonksiyonel bağımsızlığı ve düşme önlemeyi destekleyen bir araç olabileceğine işaret etmektedir.

3.1.4. Vücut Kompozisyonu

Fazla kilolu veya obez yetişkinlerde yürütülen 11 randomize kontrollü çalışmayı (393 katılımcı) içeren bir meta-analizde, Pilates'in vücut ağırlığını, beden kütle indeksini (BKİ) ve vücut yağ yüzdesini anlamlı biçimde azalttığı; bel çevresi ve yağsız vücut kütlelerinde ise anlamlı değişiklik oluşturmadığı bildirilmiştir. Ağırlık ve yağ yüzdesindeki azalmalar, yalnızca obez bireyleri içeren çalışmalarda ve daha uzun süreli müdahalelerde daha belirgindir (Wang vd., 2021). Fazla kilolu ve obez kadınlara özgü 8 haftalık bir Reformer Pilates randomize kontrollü çalışmasında, deney grubunda vücut kompozisyonunun anlamlı biçimde iyileştiği saptanmıştır (Gökarp & Kırmızıgül, 2025). Türkiye'de yürütülen çalışmalarda da mat ve Reformer Pilates programlarının kadınlarda göğüs, bel, karın, kalça, kol ve bacak çevreleri ile vücut ağırlığı ve BKİ değerlerini azalttığı raporlanmıştır (Aslan, 2019). Fazla kilolu/obez bireylerde Pilates'e bağlı fizyolojik ve psikolojik uyumları derleyen güncel bir derleme, antropometrik parametreler, glukoz ve lipid metabolizması ile kan basıncında olumlu değişimlere dikkat çekmiş; ancak ekipman temelli müdahalelerin ve ruhsal çıktıların görece az incelendiğini vurgulamıştır (Batrakoulis, 2022).

3.1.5. Pelvik Taban Fonksiyonları ve Üriner İnkontinans

Pelvik taban sağlığı, kadına özgü bir araştırma alanı olarak Pilates literatüründe giderek daha fazla yer bulmaktadır. Postmenopozal kadınlarda yürütülen 12 haftalık bir randomize kontrollü çalışmada, gönüllü pelvik taban kası kontraksiyonunun korunması koşuluyla, Pilates ile pelvik taban kası eğitiminin (PTKE) stres üriner inkontinans yönetiminde benzer iyileşmeler sağladığı; her iki yöntemin de ped testi, günlük idrar kaçağı ve yaşam kalitesi ölçümlerini iyileştirdiği gösterilmiştir (Gonzaga vd., 2024). Yaşlı kadınlarda modifiye Pilates egzersizleri ile Pelvik Taban Kas Egzersizlerinin karşılaştırıldığı bir randomize klinik çalışmada, her iki grupta da inkontinans şiddeti ve etki ölçeklerinde anlamlı iyileşmeler elde edilmiş; modifiye Pilates, Pelvik Taban Kas Egzersizlerini çeşitli nedenlerle uygulamak istemeyen yaşlı kadınlar için güvenli ve uygulanabilir bir alternatif olarak değerlendirilmiştir (Dimli vd., 2024). Yaşlı kadınlarda yoga, Pilates ve Pelvik Taban Kas Egzersizlerini karşılaştıran rastgele denetimli bir pilot çalışmada üç müdahalenin de inkontinans skorlarını iyileştirdiği; bu pilot çalışmada yoga lehine bir üstünlük gözlemlendiği bildirilmiştir (Kannan vd., 2021). Postpartum stres üriner inkontinansa yönelik farmakolojik olmayan tedavileri inceleyen sistematik bir derleme ise, PTKE'nin temel tedavi olmayı sürdürdüğünü; Pilates ve solunum egzersizlerinin PTKE ile birleştirildiğinde merkez kuvvetini ve inkontinans semptomlarını iyileştirebilecek tamamlayıcı yaklaşımlar olduğunu öne sürmüştür (Chen vd., 2025).

3.1.6. Kronik Ağrı (Bel Ağrısı ve Fibromiyalji)

Kronik non-spesifik bel ağrısı, kadınlarda sık görülen ve Pilates'in en yoğun çalışıldığı klinik alanlardan biridir. On dokuz randomize kontrollü çalışmayı (1108 hasta) kapsayan bir sistematik derleme ve meta-analizde, Pilates'in ağrı şiddetini ve Oswestry ile Roland-Morris ölçekleriyle değerlendirilen fonksiyonel yetiyitimi anlamlı biçimde azalttığı; yaşam kalitesi üzerindeki iyileşmenin ise daha sınırlı olduğu raporlanmıştır (Yu vd., 2023). Kronik non-spesifik bel ağrılı bireylerde Pilates ile ev temelli egzersizleri karşılaştıran ve altı aylık izlem içeren bir randomize kontrollü çalışmada, Pilates müdahale sonrası ağrı, yetiyitimi ve sağlıkla ilişkili yaşam kalitesinde üstünlük göstermiş; ancak ağrı ve yetiyitimindeki farkların klinik açıdan belirgin düzeyde olmadığı, yaşam kalitesi (fayda) açısından ise anlamlı ve klinik olarak ilgili bir fark sürdüğü vurgulanmıştır (Tottoli vd., 2024). Pilates'in etki mekanizmasını inceleyen bir aracılık (mediation) analizinde, ağrı felaketleştirme ve kineziyofobideki azalmaların; ağrı şiddeti ve fiziksel fonksiyondaki iyileşmelere kısmen aracılık ettiği gösterilmiştir; bu bulgu, Pilates'in fiziksel etkilerinin psikolojik bileşenlerle iç içe geçtiğine işaret etmektedir (Wood vd., 2023). Lomber disk herniasyonlu bireylerde altı haftalık klinik Pilates uygulamasının ağrı ve fonksiyonel yetiyitimi azalttığı, esneklik ile gövde kas

dayanıklılığını ve yaşam kalitesinin bazı boyutlarını iyileştirdiği bildirilmiştir (Taşpınar vd., 2022). Çoğunlukla kadınlardan oluşan fibromiyalji popülasyonunda yürütülen bir randomize kontrollü çalışmada, Reformer Pilates ve ev temelli mat Pilatesin klinik durum, kas kuvveti, ağrı, biyopsikososyal durum ve yaşam kalitesi üzerinde olumlu etkiler sağladığı saptanmıştır (Caglayan vd., 2023).

3.1.7. Gebelik ve Doğum Süreci

Gebelik, kadına özgü fiziksel gereksinimlerin yoğunlaştığı kritik bir dönemdir. Primipar kadınlarda 26.-28. gebelik haftasından itibaren sekiz hafta uygulanan bir Pilates programının; doğum ağrısı şiddetini, eylemin aktif fazı ile ikinci evresinin süresini azalttığı ve doğum memnuniyetini artırdığı, ayrıca toplam eylem süresini kısalttığı bir randomize kontrollü çalışmada gösterilmiştir (Ghandali vd., 2021). Nullipar gebelerde sekiz haftalık Pilates destekli doğuma hazırlık eğitiminin; gebelik ve erken postpartum dönemde stres ve sıkışma tipi üriner inkontinans şiddetini azalttığı, gebelikte kilo alımını sınırladığı, vajinal doğum oranını artırdığı ve eylem süresini kısalttığı raporlanmıştır (Buran & Erim Avcı, 2024). On bir çalışmayı (538 katılımcı) kapsayan güncel bir sistematik derleme ve meta-analizde, gebelikte Pilatesin eylem süresini kısalttığı, yenidoğanın 1. dakika APGAR skorunu iyileştirdiği ve doğum ağrısını (VAS) azalttığı; buna karşılık BKİ, vücut ağırlığı ve doğum şekli üzerinde anlamlı bir etki oluşturmadığı bildirilmiştir (Li vd., 2025). Gebelikte yaşam kalitesini inceleyen bir başka sistematik derlemede ise Pilates uygulamasının algılanan yaşam kalitesi, uyku kalitesi ve fiziksel hareketliliği iyileştirdiği, lumbopelvik ağrıyı azalttığı ve sınırlı sayıda çalışmada anksiyete ve depresyon düzeylerini düşürdüğü ortaya konmuştur (Mérida-Téllez vd., 2025). Gebelikte ağrı ve yaşam kalitesini değerlendiren bir meta-analiz de, Pilatesin gebeliğe bağlı bel ağrısını rutin antenatal bakıma veya egzersiz yapmamaya kıyasla daha fazla azaltabileceğine ilişkin orta düzeyde kanıt sunmuş ve herhangi bir advers etkinin raporlanmadığını belirtmiştir (Ferraz vd., 2023).

3.2. Psikolojik Sağlık Üzerindeki Etkiler

3.2.1. Anksiyete ve Depresyon

Pilatesin psikolojik etkileri, özellikle anksiyete ve depresif belirtiler üzerinde tutarlı biçimde araştırılmaktadır. Peri- ve postmenopozal kadınlarda 11 randomize kontrollü çalışmayı (1005 katılımcı) içeren bir sistematik derleme ve meta-analizde; Pilates'i de kapsayan zihin-beden egzersizlerinin anksiyeteyi (SMD = -0,80) ve depresif duygudurumu (SMD = -0,80) anlamlı biçimde azalttığı, ayrıca kemik mineral yoğunluğu, uyku kalitesi ve yorgunlukta

iyileşme sağladığı bildirilmiştir (Xu vd., 2024). Fazla kilolu ve obez kadınlarda yürütülen bir Reformer Pilates randomize kontrollü çalışmasında, sekiz haftalık müdahalenin depresyon ve anksiyete ölçek puanlarını anlamlı biçimde azalttığı gösterilmiştir (Gökalp & Kırmızıgil, 2025). Türkiye’de 18–50 yaş arası kadınlarda yürütülen bir çalışmada, altı haftalık Pilates-mat programının grup içi karşılaştırmalarda anksiyete ve depresyon puanlarını anlamlı biçimde düşürdüğü; etki büyüklüklerinin yüksek olduğu raporlanmıştır (Sanioglu & Maçkalı, 2021). Bununla birlikte, aynı çalışmada gruplar arası karşılaştırmada anksiyete ve depresyon açısından anlamlı fark bulunmaması, küçük örneklem ve grup başlangıç farklılıklarıyla ilişkilendirilmiştir (Sanioglu & Maçkalı, 2021).

3.2.2. Stres ve Uyku Kalitesi

Solunum kontrolü ve dikkat odaklı yapısı nedeniyle Pilates, stresle baş etme ve uyku düzenlenmesi açısından da değerlendirilmektedir. Yaşlı bireylerde 27 çalışmayı kapsayan bir sistematik derleme ve meta-analizde; Pilates, yoga, qigong ve tai chi’yi içeren zihin-beden egzersizlerinin uyku bozukluğunu (SMD = -0,60) ve depresyonu (SMD = -0,56) anlamlı biçimde azalttığı ortaya konmuştur (Makhfudli vd., 2024). Benzer biçimde, peri-/postmenopozal kadınlarda zihin-beden egzersizlerinin uyku kalitesini iyileştirdiği gösterilmiştir (Xu vd., 2024). Bu bulgular, Pilatesin stresi yönetmede destekleyici bir egzersiz olarak kullanılabileceği yönündeki değerlendirmelerle uyumludur (Sanioglu & Maçkalı, 2021).

3.2.3. Yaşam Kalitesi ve Yaşam Doyumu

Sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi, Pilatesin çok boyutlu etkilerini yansıtan bütünleştirici bir çıktıdır. Sağlıklı sedanter kadınlarda 12 haftalık kalistenik-Pilates programının uygulandığı bir çalışmada; hareket kabiliyeti, normal aktiviteler, zihinsel fonksiyon ve genel rahatsızlık belirtilerini içeren sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi parametrelerinin anlamlı biçimde iyileştiği, kontrol grubunda ise bu parametrelerin sabit kaldığı veya gerilediği saptanmıştır (Vergili, 2012). Kronik bel ağrılı bireylerde Pilatesin, ev temelli egzersizlere kıyasla sağlıkla ilişkili yaşam kalitesinde klinik açıdan ilgili bir üstünlük sağladığı gösterilmiştir (Tottoli vd., 2024). Gebelerde Pilatesin algılanan yaşam kalitesini iyileştirdiği (Mérida-Téllez vd., 2025) ve Türkiye’de yürütülen çalışmalarda Pilates-mat egzersizlerine katılan kadınlarda yaşam doyumu düzeylerinin anlamlı biçimde arttığı raporlanmıştır (Sanioglu & Maçkalı, 2021).

3.2.4. Öz Yeterlilik, Bilişsel İşlev ve Psikolojik İyi Oluş

Pilatesin psikolojik iyi oluş ve bilişsel işlevler üzerindeki etkilerine ilişkin kanıtlar gelişmektedir. Yükseköğretim öğrencilerinde fiziksel aktivite müdahalelerinin ruh sağlığı üzerindeki etkisini inceleyen bir sistematik derleme, dans ve Pilates gibi orta-yüksek şiddetli etkinliklerin ruh sağlığı ve yaşam kalitesini iyileştirmede etkili olabileceğini öne sürmüştür (Donnelly vd., 2024). Sedanter kadınlarda yürütülen güncel bir randomize kontrollü çalışmada, Pilatese eklenen progresif gevşeme ve solunum tekniklerinin bilişsel performans (dikkat, çalışma belleği) testlerinin tüm alt boyutlarında kontrol grubuna kıyasla daha fazla gelişme sağladığı gösterilmiştir (Çelik & Yıldız, 2026). Kronik bel ağrısı bağlamında ağrı felaketleştirme ve kineziyofobinin azalmasının fiziksel iyileşmelere aracılık etmesi (Wood vd., 2023), Pilatesin bedensel kazanımlarının öz yeterlilik ve hareket güveniyle ilişkili psikolojik mekanizmalar üzerinden de işlediğini düşündürmektedir.

4. TARTIŞMA

Bu derlemede sentezlenen güncel kanıtlar, Pilates egzersizlerinin kadınlarda hem fiziksel hem de psikolojik sağlık üzerinde çok boyutlu yararlar sağlayabileceğini göstermektedir. Fiziksel açıdan en tutarlı bulgular; gövde-merkez kas enduransı, esneklik, dinamik denge ve fazla kilolu/obez kadınlarda vücut kompozisyonu çıktılarında ortaya çıkmaktadır (Wang vd., 2021; Pereira vd., 2022; Karpouzi vd., 2025; Gökalp & Kırmızıgil, 2025). Psikolojik açıdan ise anksiyete, depresif belirtiler ve uyku bozukluğunda azalma ile yaşam kalitesi ve yaşam doyumunda artış, hem uluslararası meta-analizlerde hem de Türkiye kaynaklı çalışmalarda raporlanmaktadır (Xu vd., 2024; Makhfudli vd., 2024; Sanioğlu & Maçkalı, 2021; Vergili, 2012).

Pelvik taban ve gebelik gibi kadına özgü alanlarda Pilates, klinik uygulama açısından özellikle dikkat çekicidir. Stres üriner inkontinanstaki Pilatesin, pelvik taban kası eğitimine kıyasla benzer iyileşmeler sağlaması (Gonzaga vd., 2024; Dimli vd., 2024) ve gebelikte doğum ağrısı, eylem süresi ve lumbopelvik ağrı üzerindeki olumlu etkileri (Ghandali vd., 2021; Li vd., 2025; Ferraz vd., 2023), bu yöntemin standart bakıma tamamlayıcı bir seçenek olarak konumlanabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, gönüllü pelvik taban kontraksiyonunun korunmasının etkinlik için belirleyici olması (Gonzaga vd., 2024), Pilatesin tek başına değil, doğru teknik öğretimiyle birlikte uygulanması gerektiğine işaret etmektedir.

Fiziksel ve psikolojik çıktıların iç içe geçtiği de dikkat çekmektedir. Pilatesin kronik bel ağrısındaki etkisine ağrı felaketleştirme ve kineziyofobideki azalmaların aracılık etmesi (Wood vd., 2023), yöntemin “zihin-beden” doğasını ampirik olarak desteklemekte ve bedensel

kazanımların psikolojik mekanizmalardan ayrı düşünölemeyeceğini göstermektedir. Bu durum, Pilatesin solunum ve gevşeme bileşenleriyle bütünleştirildiğinde hem fiziksel hem bilişsel çıktılarda daha belirgin gelişme sağladığı yönündeki bulgularla da uyumludur (Çelik & Yıldız, 2026).

4.1. Çalışmaların Metodolojik Güçlü ve Zayıf Yönleri

Güçlü yönler açısından, son beş yılda kadın örneklemelerinde yürütölmüş çok sayıda randomize kontrollü çalışmanın ve PROSPERO'ya kayıtlı, PRISMA temelli sistematik derleme/meta-analizlerin bulunması, kanıt tabanının yöntemsel olgunluğunun arttığını göstermektedir (Yu vd., 2023; Li vd., 2025; Xu vd., 2024). Birçok çalışmada geçerli ve güvenilir ölçüm araçlarının (ör. ICIQ-SF, Oswestry, SF-36, Beck ölçekleri, manometri, EMG, ultrasonografi) kullanılması, sonuçların karşılaştırılabilirliğini güçlendirmektedir.

Zayıf yönler ise kanıtların kesinliğini sınırlandırmaktadır. İlk olarak, birincil çalışmaların önemli bir kısmı küçük örneklemlidir; örneğin pelvik taban ve fibromiyalji çalışmalarında grup başına katılımcı sayısı çoğunlukla 15-25 aralığındadır (Kannan vd., 2021; Caglayan vd., 2023). İkinci olarak, müdahale süreleri sıklıkla 6-12 hafta ile sınırlıdır ve uzun dönem izlem verisi azdır (Sanioğlu & Maçkalı, 2021; Tottoli vd., 2024). Üçüncüsü, egzersiz müdahalelerinin doğası gereği katılımcı ve uygulayıcı körlemesinin sağlanamaması, performans ve değerlendirme yanlılığı riskini artırmaktadır (Ferraz vd., 2023). Dördüncüsü, Pilates protokollerinin (mat/Reformer, sıklık, ilerleme) heterojenliği ve bazı çalışmalarda yöntemin yetersiz tanımlanması, bulguların havuzlanmasını ve genellenmesini güçleştirmektedir; nitekim meta-analizlerde yüksek istatistiksel heterojenlik (yüksek I^2 değerleri) ve “belirsiz yanlılık riski” sıkça raporlanmıştır (Wang vd., 2021; Yu vd., 2023; Li vd., 2025). Son olarak, gözlemsel ve ön test–son test desenli çalışmalarda kontrol grubunun bulunmaması veya beslenme gibi karıştırıcı değişkenlerin denetlenememesi, nedensellik çıkarımlarını sınırlandırmaktadır (Aslan, 2019).

4.2. Araştırma Boşlukları

Mevcut literatür birkaç önemli boşluğa işaret etmektedir. Birincisi, vücut kompozisyonu çalışmalarında ekipman temelli (Reformer/Cadillac) müdahaleler ile ruhsal çıktıların görece az incelenmiş olmasıdır (Batrakoulis, 2022). İkincisi, klinik düzeyde depresyon veya anksiyete tanısı almış kadınlarda Pilatesin etkisini değerlendiren çalışmaların azlığıdır; mevcut örneklemeler çoğunlukla klinik eşğin altındaki bireylerden oluşmaktadır (Sanioğlu & Maçkalı, 2021). Üçüncüsü, menopo, postpartum dönem ve ileri yaş gibi kadına özgü yaşam evrelerinde

doz-yanıt ilişkisini (optimal sıklık, süre ve şiddet) belirleyen çalışmaların yetersizliğidir. Dördüncüsü, pelvik taban ve gebelik alanlarında uzun dönem izlem ve yenidoğan/anne güvenliği verilerinin sınırlılığıdır (Buran & Erim Avcı, 2024; Li vd., 2025). Son olarak, Türkiye kaynaklı kanıtların önemli bir bölümünün küçük örneklemlerli, tek merkezli ve kısa süreli olması, ulusal düzeyde çok merkezli ve standardize protokollü çalışmalara duyulan gereksinimi belirginleştirmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İncelenen çalışmaların genel değerlendirmesi, Pilates egzersizlerinin kadınlarda kas kuvveti ve dayanıklılığını, esnekliği, dinamik dengeyi ve vücut kompozisyonunu olumlu yönde etkilediği; pelvik taban fonksiyonları, kronik bel ağrısı ve gebelik sürecine ilişkin kadına özgü çıktılarda klinik açıdan anlamlı yararlar sağladığı; anksiyete, depresif belirtiler, uyku ve stresi azaltırken yaşam kalitesi ve yaşam doyumunu artırdığı söylenebilir. Düşük yaralanma riskli, maliyeti görece düşük, bireysel veya grup hâlinde kolaylıkla uygulanabilen yapısı, Pilatesi kadın sağlığının korunması ve geliştirilmesinde sürdürülebilir bir egzersiz seçeneği hâline getirmektedir. Bununla birlikte, kanıtların kesinliği metodolojik sınırlılıklar nedeniyle ölçülü biçimde yorumlanmalıdır.

Spor bilimleri ve kadın sağlığı alanına yönelik öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Gelecek çalışmalar; daha büyük örneklemlerli, çok merkezli, uzun izlemli (≥ 6 ay) ve katılımcı/uygulayıcı körlemesini mümkün olduğunca güçlendiren randomize kontrollü tasarımlar benimsemelidir.
2. Pilates protokolleri (modalite, sıklık, süre, şiddet ve ilerleme) ayrıntılı ve standardize biçimde raporlanmalı; bu sayede meta-analizlerde heterojenlik azaltılarak doz-yanıt ilişkileri belirlenebilmelidir.
3. Menopoz, gebelik ve postpartum dönem ile ileri yaş gibi kadına özgü yaşam evrelerine yönelik, faz-spesifik protokoller geliştirilmeli ve etkinlikleri sınanmalıdır.
4. Pelvik taban uygulamalarında, gönüllü pelvik taban kası kontraksiyonunun doğru öğretimi standardize edilmeli; Pilates, pelvik taban kası eğitimine tamamlayıcı bir bileşen olarak değerlendirilmelidir.
5. Klinik düzeyde anksiyete veya depresyon tanısı almış kadınlarda Pilatesin psikososyal tedaviye ek bir bileşen olarak etkinliği araştırılmalıdır.

6. Fiziksel çıktılarla birlikte psikolojik aracı değişkenler (ağrı felaketleştirme, kineziyofobi, öz yeterlilik) eş zamanlı ölçülerek Pilatesin zihin-beden mekanizmaları aydınlatılmalıdır.

7. Uygulamada Pilates, fizyoterapist veya sertifikalı eğitmen gözetiminde, bireyin sağlık durumu ve yaşam evresine göre bireyselleştirilerek sunulmalı; kadın sağlığına yönelik koruyucu egzersiz programlarına entegre edilmelidir.

Sonuç olarak, Pilates kadın sağlığı için umut verici ve çok yönlü bir egzersiz yaklaşımı olmakla birlikte, mevcut kanıtların yöntemsel kalitesinin yükseltilmesi, yöntemin etkinliğine ve güvenliğine ilişkin çıkarımların güçlendirilmesi açısından öncelikli bir gereksinimdir.

BİLGİLENDİRMELER

Etik Onay: Bu çalışma yayımlanmış literatürün derlenmesine dayandığından, insan veya hayvan katılımcı içeren özgün veri toplanmamış olup ayrı bir etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Çıkar Çatışması: Yazar(lar), herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını ifade eder.

Finansman: Bu çalışma için herhangi bir kurum veya kuruluştan finansal destek alınmamıştır.

KAYNAKLAR

Aslan, Ş. (2019). Kadınlarda pilatesin vücut kompozisyonuna etkisi. İnönü Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 6(1), 24-35.

Batrakoulis, A. (2022). Psychophysiological adaptations to Pilates training in overweight and obese individuals: A topical review. Diseases, 10(4), 71.

<https://doi.org/10.3390/diseases10040071>

Buran, G., & Erim Avcı, S. (2024). The effect of pregnancy pilates-assisted childbirth preparation training on urinary incontinence and birth outcomes: A randomized-controlled study. Archives of Gynecology and Obstetrics, 310(5), 2725–2735.

<https://doi.org/10.1007/s00404-024-07653-5>

Caglayan, B. C., Başakcı Çalık, B., Gür Kabul, E., & Karasu, U. (2023). Investigation of effectiveness of reformer pilates in individuals with fibromyalgia: A randomized controlled trial. Reumatología Clínica, 19(1), 18–25.

<https://doi.org/10.1016/j.reumae.2022.01.003>

- Chen, Y., Zhang, F., Zheng, P., Cui, D., & Fan, X. (2025). Postpartum stress urinary incontinence: Current advances in non-pharmacological therapies. *Archivos Españoles de Urología*, 78(1), 1-9. <https://doi.org/10.56434/j.arch.esp.urol.20257801.1>
- Çelik, N., & Yıldız, S. (2026). Sedanter kadınlarda pilates ve progresif gevşeme egzersizlerinin fiziksel ve kognitif parametreler üzerindeki etkisi. *Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 9(1), 47–61. <https://doi.org/10.48124/husagbilder.1767853>
- Dimli, B. O., Mutlu, E. K., Altaç, D. S., & Taşkıran, H. (2024). Comparison of the effects of pelvic floor muscle training and modified pilates exercises in elderly women with stress urinary incontinence: A randomized clinical trial. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 300, 327-336. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2024.07.033>
- Donnelly, S., Penny, K., & Kynn, M. (2024). The effectiveness of physical activity interventions in improving higher education students' mental health: A systematic review. *Health Promotion International*, 39(2), daae027. <https://doi.org/10.1093/heapro/daae027>
- Ferraz, V. S., Peixoto, C., Ferreira Resstel, A. P., Cerqueira de Paula, Y. T., & Gomes de Souza Pegorare, A. B. (2023). Effect of the pilates method on pain and quality of life in pregnancy: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 35, 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2023.04.076>
- Ghandali, N. Y., Irvani, M., Habibi, A., & Cheraghian, B. (2021). The effectiveness of a Pilates exercise program during pregnancy on childbirth outcomes: A randomised controlled clinical trial. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 21(1), 480. <https://doi.org/10.1186/s12884-021-03922-2>
- Gökalp, Ö., & Kırmızıgil, B. (2025). Effects of reformer pilates on body composition, strength, and psychosomatic factors in overweight and obese women: A randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 15(1), 23602. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-09683-8>
- Gonzaga, S., de Oliveira, R. G., Dutra, L. L., Oliveira, L. S., & de Oliveira, L. C. (2024). Comparative analysis of pelvic floor muscle training and Pilates in managing urinary incontinence among postmenopausal women: A randomized controlled trial. *International Urogynecology Journal*, 35(3), 561–569. <https://doi.org/10.1007/s00192-023-05712-0>

- Kannan, P., Hsu, W. H., Suen, W. T., Chan, L. M., Assor, A., & Ho, C. M. (2021). Yoga and Pilates compared to pelvic floor muscle training for urinary incontinence in elderly women: A randomised controlled pilot trial. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 46, 101502. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2021.101502>
- Karpouzi, C., Kypraiou, A., Mougios, V., & Petridou, A. (2025). Effects of protein supplementation during pilates training on body composition, core muscle endurance, and joint flexibility in trained women: A randomized controlled trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 22(1), 2472891. <https://doi.org/10.1080/15502783.2025.2472891>
- Li, Y., Lu, H., Zhang, L., Ren, Y., Dai, X., & Lin, L. (2025). Pilates exercise in pregnancy: A systematic review and meta-analysis. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 17(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s13102-025-01067-9>
- Makhfudli, M., Tonapa, S. I., Has, E. M. M., Chong, M. C., & Efendi, F. (2024). Efficacy of mind-body exercise to reduce sleep disturbance and depression among older adults: A systematic review and meta-analysis. *Asian Nursing Research*, 18(4), 408-419. <https://doi.org/10.1016/j.anr.2024.08.002>
- Mérida-Téllez, J. M., Vázquez-Lara, J. M., Fernández-Carrasco, F. J., Gómez-Salgado, J., Macías-Toronjo, I., Muñoz-Vela, F. J., Fagundo-Rivera, J., Palomo-Gómez, R., & Rodríguez-Díaz, L. (2025). Effects of Pilates on the quality of life of pregnant women during pregnancy: A systematic review. *Medicine*, 104(17), e41967. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000041967>
- Pereira, M. J., Mendes, R., Mendes, R. S., Martins, F., Gomes, R., Gama, J., Dias, G., & Castro, M. A. (2022). Benefits of Pilates in the elderly population: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 12(3), 236–268. <https://doi.org/10.3390/ejihpe12030018>
- Sanioğlu, G., & Maçkalı, Z. (2021). Kadınlarda pilates-mat egzersizlerinin psikolojik sağlık üzerine etkisi. *Uluslararası Egzersiz Psikolojisi Dergisi*, 3(1), 37-50. <https://doi.org/10.51538/intjouexerpsyc.848304>
- Taşpınar, G., Angın, E., & Öksüz, S. (2022). The effects of Pilates on pain, functionality, quality of life, flexibility and endurance in lumbar disc herniation. *Journal of*

- Comparative Effectiveness Research, 12(1), e220144. <https://doi.org/10.2217/cer-2022-0144>
- Tottoli, C. R., Ben, Â. J., da Silva, E. N., Bosmans, J. E., van Tulder, M., & Carregaro, R. L. (2024). Effectiveness of Pilates compared with home-based exercises in individuals with chronic non-specific low back pain: Randomised controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 38(11), 1495–1505. <https://doi.org/10.1177/02692155241277041>
- Vergili, Ö. (2012). Sağlıklı sedanter kadınlarda kalistenik ve pilates egzersizlerinin sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi üzerindeki etkileri. *Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 14(3), 14–20. <https://doi.org/10.24938/kutfd.124771>
- Wang, Y., Chen, Z., Wu, Z., Ye, X., & Xu, X. (2021). Pilates for overweight or obesity: A meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 12, 643455. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.643455>
- Wood, L., Bejarano, G., Csiernik, B., Miyamoto, G. C., Mansell, G., Hayden, J. A., Lewis, M., & Cashin, A. G. (2023). Pain catastrophising and kinesiophobia mediate pain and physical function improvements with Pilates exercise in chronic low back pain: A mediation analysis of a randomised controlled trial. *Journal of Physiotherapy*, 69(3), 168–174. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2023.05.008>
- Xu, H., Liu, J., Li, P., & Liang, Y. (2024). Effects of mind-body exercise on perimenopausal and postmenopausal women: A systematic review and meta-analysis. *Menopause*, 31(5), 457-467. <https://doi.org/10.1097/GME.0000000000002336>
- Yu, Z., Yin, Y., Wang, J., Zhang, X., Cai, H., & Peng, F. (2023). Efficacy of Pilates on pain, functional disorders and quality of life in patients with chronic low back pain: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 2850. <https://doi.org/10.3390/ijerph20042850>

**PILATES EGZERSİZLERİNİN DEPRESYON, ANKSİYETE VE STRES
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNE İLİŞKİN GÜNCEL KANITLARIN ELEŞTİREL
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Feray TURAL

İnönü Üniversitesi,

feraytural1@gmail.com - ORCID ID 0009-0001-3361-9585

Doç. Dr. Özgür EKEN

İnönü Üniversitesi,

ozgur.eken@inonu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0002-5488-3158

Doç. Dr. Yahya DOĞAR

İnönü Üniversitesi,

yahya.dogar@inonu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0002-1068-2266

ÖZET

Pilates egzersizleri, son yıllarda psikolojik sağlık üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle giderek artan bir ilgi görmektedir. Bu derleme; kadınlarda pilates-mat egzersizlerinin psikolojik sağlığa etkilerini, COVID-19 pandemi sürecinde internet üzerinden uygulanan mat pilates egzersizlerinin depresyon ve uyku kalitesine etkilerini, postmenopozal dönemde pilatesin yaşam kalitesi ve depresyon üzerindeki etkilerini, fibromiyalji hastalarında torakal mobilizasyon egzersizlerinin anksiyete ve depresyon üzerindeki etkilerini ve kadınlarda pilates tabanlı egzersizin postür, depresyon belirtileri ile ağrı üzerindeki etkilerini inceleyen beş güncel çalışmayı eleştirel bir perspektifle değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular; pilates egzersizlerinin depresyon ve anksiyete düzeylerini anlamlı biçimde azaltabileceğine, yaşam doyumunu ve uyku kalitesini artırabileceğine işaret etmektedir. Bununla birlikte çalışmaların küçük örneklem büyüklükleri, kontrol grubu tasarım sorunları ve uzun dönemli takip eksiklikleri gibi metodolojik sınırlılıkları, genel geçer çıkarımlar yapmayı güçleştirmektedir. Bu derleme, alandaki kanıt tabanını güçlendirmek amacıyla daha geniş

örneklemlı, randomize kontrollü ve uzun dönemli çalışmalara duyulan ihtıyacını vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Pilates egzersizi, depresyon, anksiyete, stres, psikolojik sağılık, yaşam kalitesi

ABSTRACT

Pilates exercises have attracted increasing interest in recent years due to their positive effects on psychological health. This review critically evaluates five current studies examining the effects of pilates-mat exercises on psychological health in women, the impact of online mat pilates on depression and sleep quality during the COVID-19 pandemic, the effects of pilates on quality of life and depression in postmenopausal women, the effects of thoracic mobilization exercises on anxiety and depression in fibromyalgia patients, and the effects of pilates-based exercises on posture, depression symptoms, and pain in women. The findings suggest that pilates exercises may significantly reduce depression and anxiety levels and improve life satisfaction and sleep quality. However, methodological limitations such as small sample sizes, control group design issues, and lack of long-term follow-up make it difficult to draw generalizable conclusions. This review highlights the need for larger-sample, randomized controlled, and long-term studies to strengthen the evidence base.

Keywords: Pilates exercise, depression, anxiety, stress, psychological health, quality of life

1. GİRİŞ

Fiziksel inaktivite ve sedanter yaşam tarzının yaygınlaşmasıyla birlikte depresyon, anksiyete ve stres gibi psikolojik sorunlar toplumsal düzeyde giderek daha belirgin hale gelmektedir. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre depresyon, küresel düzeyde en yaygın ruhsal bozuklukların başında gelmekte; özellikle kadınlarda erkeklere kıyasla daha yüksek görülme sıklığına sahip olduğu bildirilmektedir. Kronik stres ve anksiyete ise bireylerin iş gücü kaybına uğramasına, tedavi maliyetlerinin artmasına ve yaşam kalitesinin düşmesine yol açmaktadır (Başoğlu & Buldukoğlu, 2015; Karataylı, 2007).

Son yıllarda fiziksel egzersizin ruh sağılığı üzerindeki olumlu etkilerine ilişkin kanıtlar hızla artmaktadır. Egzersizin depresyon, anksiyete ve stres üzerindeki azaltıcı etkileri; biyolojik (endorfin salınımı, HPA eksenini düzenlenmesi), psikolojik (öz-yeterlilik algısının güçlenmesi)

ve sosyal (grup dinamiklerinin desteği) mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bu bağlamda pilates egzersizi, zihin ve beden bütünlüğünü ön plana çıkaran, nefes tekniklerini hareketle bütünleştiren ve yüksek yaralanma riski taşımayan yapısıyla toplumun geniş kesimlerine hitap eden bir egzersiz yöntemi olarak öne çıkmaktadır (Sanioğlu & Maçkalı, 2021).

Joseph Pilates tarafından geliştirilen ve başlangıçta rehabilitasyon amacıyla kullanılan pilates egzersizleri; denge, koordinasyon, kas gücü ve omurga stabilizasyonu gibi fiziksel parametreler üzerindeki olumlu etkileriyle bilinmektedir (Cruz-Ferreira ve ark., 2011). Bununla birlikte pilatesin psikolojik değişkenler üzerindeki etkilerini doğrudan araştıran çalışmaların sayısı son dönemde artış göstermektedir. Özellikle COVID-19 pandemi sürecinin fiziksel aktiviteyi kısıtlaması ve psikolojik distres düzeylerini artırması, internet tabanlı pilates uygulamalarına yönelik ilgiyi önemli ölçüde canlandırmıştır.

Bu derleme, 2018–2024 yılları arasında yayımlanmış beş Türkçe orijinal araştırmayı eleştirel bir bakış açısıyla inceleyerek pilates egzersizlerinin depresyon, anksiyete ve stres üzerindeki etkilerine ilişkin mevcut kanıt tabanını değerlendirmeyi hedeflemektedir. Çalışmaların yöntemsel güçlü ve zayıf yönleri, ölçüm araçlarının geçerliliği, örneklem özellikleri ve klinik uygulanabilirlik açısından karşılaştırmalı bir tartışma sunulmaktadır.

2. YÖNTEM: DERLEMeye DAHİL EDİLEN ÇALIŞMALARIN TANITIMI

Bu derlemeye dahil edilen beş çalışma, aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 1. Derlemeye dahil edilen çalışmaların genel özellikleri

Çalışma	Örneklem	Tasarım	Uygulama	Başlıca Ölçüm Araçları	Temel Bulgular
Saltan (2018)	22 kadın (n=11 deney, n=11 kontrol)	RKÇ	12 hafta, haftada 3 gün, 3x1 saat	BDÖ, GAÖ, NPT, NSP, BKO	Egzersiz grubunda BKO ve NPT’de anlamlı iyileşme; BDÖ’de anlamlı fark yok
Sanioğlu & Maçkalı (2021)	30 kadın (n=15 deney, n=15 kontrol)	Deney-kontrol	6 hafta, haftada 3 gün, 1 saat	BAÖ, BDÖ, YDÖ	Deney grubunda depresyon ve anksiyetede anlamlı azalma; yaşam doyumunda artış
Özdemir & Uysal (2018)	44 postmenopozal kadın (n=21 pilates, n=23 ev egzersizi)	RKÇ	8 hafta, haftada 3 gün	MÖYKÖ, Beck Depresyon Ölçeği	Pilates grubunda hem yaşam kalitesi hem depresyonda anlamlı iyileşme
Demir ve ark. (2023)	22 kadın üniversite öğrencisi	Tek grup ön-son test	8 hafta, 24 seans (Zoom)	BDÖ, PUKİ, SF-36, VAS	Depresyon, uyku kalitesi ve ağrıda anlamlı iyileşme; yaşam kalitesinde (SF-36) anlamlı fark yok
Çiftçi (2024)	40 fibromiyalji hastası (n=20 kontrol, n=20 torakal mobilizasyon)	RKÇ	11 seans	VAS, BDÖ, BAÖ, FEA	Her iki grupta grup içi anlamlı iyileşme; gruplar arası VAS, BDÖ, BAÖ ve FEA’da torakal grubu lehine anlamlı fark

RKÇ: Randomize Kontrollü Çalışma; BDÖ: Beck Depresyon Ölçeği; GAÖ: Görsel Ağrı Ölçeği; BAÖ: Beck Anksiyete Ölçeği; NPT: New York Postür Testi; NSP: Nottingham Sağlık Profili; BKO: Bel Kalça Oranı; YDÖ: Yaşam Doyumu Ölçeği; MÖYKÖ: Menopoza Özgü Yaşam Kalitesi Ölçeği; PUKİ: Pittsburgh Uyku Kalitesi İndeksi; VAS: Vizüel Analog Skala; FEA: Fibromiyalji Etki Anketi

3. ÇALIŞMALARIN ELEŞTİREL DEĞERLENDİRMESİ

3.1. Kadınlarda Pilates Temelli Egzersizin Postür, Yaşam Kalitesi, Depresyon Belirtileri ve Ağrı Üzerine Etkisi (Saltan, 2018)

3.1.1. Çalışmanın Genel Çerçevesi

Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Tıp Dergisi'nde yayımlanan bu çalışma (F.Ü.Sağ.Bil.Tıp.Derg. 2018; 32(1): 31–36), Yalova'da 20–50 yaş aralığındaki kadınlarda 12 haftalık pilates temelli egzersiz programının postür, yaşam kalitesi, depresyon belirtileri ve ağrı üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Randomize kontrollü bir tasarıma sahip olan çalışma, 11 kişilik egzersiz ve 11 kişilik kontrol grubuyla yürütülmüştür.

3.1.2. Yöntemsel Değerlendirme

Çalışmanın güçlü yönleri arasında randomizasyon ve kontrol grubu kullanımı, çoklu değerlendirme araçlarının bir arada uygulanması (BDÖ, GAÖ, NPT, NSP, BKO) ve ön test–son test karşılaştırma tasarımı sayılabilir. Egzersiz programının içeriği net biçimde tanımlanmış; haftada 3 gün, 12 hafta boyunca uygulanan 30 dakika ısınma, 30 dakika pilates ve 10 dakika soğuma protokolü ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Bununla birlikte çalışmanın önemli metodolojik sınırlılıkları mevcuttur. Her iki grupta yalnızca 11'er katılımcıyla çalışılmış olması, istatistiksel gücü ciddi biçimde kısıtlamaktadır. Küçük örneklem, özellikle depresyon belirtileri üzerindeki etkiyi değerlendirmeye yönelik BDÖ gibi ölçeklerde anlamlı fark bulunmamasının gerçek bir etki yokluğuna mı yoksa yetersiz istatistiksel güce mi işaret ettiğini belirsiz kılmaktadır. Yazarların da belirttiği üzere, BDÖ ile ölçülen depresyon belirtileri açısından egzersiz ve kontrol grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p>0,05$).

Öte yandan çalışmaya yalnızca Yalova Termal ilçesinde yaşayan kadınların alınması, bulguların genellenebilirliğini sınırlamaktadır. İzlem süresinin 12 haftayla kısıtlı kalması ve uzun dönemli takibin yapılmaması da dikkat çeken bir eksikliktir. Körleme prosedürüne dair bilgi sunulmaması, değerlendirici yanlılığı açısından soru işareti doğurmaktadır.

3.1.3. Bulgular ve Klinik Önemi

Egzersiz grubunda VKİ, BKO ve NPT değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı iyileşmeler gözlemlenmiştir ($p<0,05$). Ancak depresyon (BDÖ), görsel ağrı (GAÖ) ve yaşam kalitesi (NSP) ölçeklerinde anlamlı fark saptanmamıştır. Bu sonuç, 12 haftalık pilates programının vücut kompozisyonu ve postür üzerinde etkili olduğunu, ancak psikolojik parametreler üzerindeki

etkisini göstermek için ya daha uzun süreli uygulamaya ya da daha büyük örnekleme ihtiyaç duyulduğunu düşündürmektedir. Nitekim yazarlar da literatürle bu bulgunun tutarsızlığını tartışarak Schuch ve arkadaşlarının meta-analizine atıfla egzersiz türünün depresyon üzerindeki etkiyi değiştirebileceğini vurgulamıştır.

3.2. Kadınlarda Pilates-Mat Egzersizlerinin Psikolojik Sağlık Üzerine Etkisi (Sanioglu & Maçkalı, 2021)

3.2.1. Çalışmanın Genel Çerçevesi

Uluslararası Egzersiz Psikolojisi Dergisi'nde (IntJourExerPsyc, Cilt:3, Sayı:1, Haziran 2021) yayımlanan bu çalışma, İstanbul'da 18–50 yaş arasındaki 30 kadında (15 deney, 15 kontrol) 6 haftalık pilates-mat egzersiz programının depresyon, anksiyete ve yaşam doyumu üzerindeki etkisini incelemiştir.

3.2.2. Yöntemsel Değerlendirme

Bu çalışma, iyi tasarlanmış bir deney-kontrol grubu karşılaştırması sunmaktadır. Hem bağımlı hem bağımsız örneklem t-testlerinin birlikte kullanılması ve etki büyüklüklerinin raporlanmış olması metodolojik bir güç olarak öne çıkmaktadır. Ölçüm araçları (BAÖ, BDÖ, YDÖ) Türkçe geçerlik-güvenirlik çalışmaları tamamlanmış standart araçlardır. Dahil etme ve dışlama kriterleri açık biçimde tanımlanmıştır: daha önce pilates yapmamış, antidepresan kullanmayan ve klinik depresyon/anksiyete tanısı almamış bireyler çalışmaya alınmıştır.

Çalışmanın sınırlılıkları arasında yine küçük örneklem boyutu ($n=30$) ve randomizasyon eksikliği ön plana çıkmaktadır. Randomizasyonsuz grup ataması, seçim yanlılığı riskini artırmaktadır. Kontrol grubuna herhangi bir plasebo egzersiz uygulanmamış olması, plasebo etkisinin bertaraf edilememiş olduğunu düşündürmektedir. Bunun yanı sıra yalnızca kadın katılımcıların dahil edilmesi bulguların cinsiyetler arası genellenebilirliğini kısıtlamaktadır.

3.2.3. Bulgular ve Klinik Önemi

Bağımlı t-testi analizlerinde deney grubunda anksiyete ($t=7,31$, $p<0,05$) ve depresyon ($t=8,52$, $p<0,05$) düzeylerinde anlamlı azalmalar; yaşam doyumunda ($t=-4,15$, $p<0,05$) ise anlamlı artış tespit edilmiştir. Bağımsız t-testi karşılaştırmasında ise yalnızca yaşam doyumunda ($t=4,93$, $p<0,01$) gruplar arası anlamlı bir fark gözlemlenmiştir. Bu bulgu, pilates egzersizinin anksiyete ve depresyonu azaltıcı etkisinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde farklılaşmadığına

işaret etmektedir; ancak tek başına deney grubunun zaman içindeki değişimi incelendiğinde belirgin iyileşmeler görülmektedir.

Etki büyüklüğü değerleri anksiyete ($t=7,31$) ve depresyon ($t=8,52$) için oldukça yüksek görünmekte; ancak bu büyüklüğün küçük örneklem boyutuyla ilişkili şişirme etkisi içerip içermediği değerlendirilmelidir. Yazarların da vurguladığı üzere, pilates egzersizi 18–50 yaş grubundaki kadınlarda stresle başa çıkmayı destekleyici bir fiziksel aktivite olarak klinik pratikte yerini alabilir.

3.3. Postmenopozal Dönemde Pilates Egzersizlerinin Yaşam Kalitesi ve Depresyon Üzerine Etkisi (Özdemir & Uysal, 2018)

3.3.1. Çalışmanın Genel Çerçevesi

ACU Sağlık Bilimleri Dergisi'nde (2018; 9(1): 25–32) yayımlanan bu araştırma, Abant İzzet Baysal Üniversitesi bünyesinde yürütülmüş olup ortalama yaşı 55,71 olan 44 postmenopozal kadında 8 haftalık pilates programının yaşam kalitesi (MÖYKÖ) ve depresyon (Beck Depresyon Ölçeği) üzerindeki etkisini incelemiştir. Bireyler pilates egzersizi grubu ($n=21$) ve ev egzersizi grubu ($n=23$) olarak ikiye ayrılmıştır.

3.3.2. Yöntemsel Değerlendirme

Bu çalışma, derlemeye dahil edilen çalışmalar arasında en güçlü metodolojik yapıya sahip olanlardan biridir. Randomize kontrollü tasarım, aktif kontrol grubunun (ev egzersizi) kullanımı ve menopoza özgü validasyonlu bir yaşam kalitesi ölçeğinin (MÖYKÖ) tercih edilmesi dikkat çekici güçlü yönlerdir. Aktif kontrol grubunun kullanılması, yalnızca egzersiz yapmanın değil pilatesin kendine özgü özelliklerinin etkilerini değerlendirmeye olanak tanımaktadır.

Sınırlılıklar açısından değerlendirildiğinde; körleme prosedürüne ilişkin bilgi sunulmamış, takip süresi 8 haftayla kısıtlı tutulmuş ve egzersiz programına uyum oranları raporlanmamıştır. Menopoz dönemindeki hormonal değişkenlerin olası karıştırıcı etkisi kontrol altına alınmamıştır. Örneklem büyüklüğü hesaplamalarına dair a priori güç analizi sonuçları sunulmamış olması da önemli bir eksikliktir.

3.3.3. *Bulgular ve Klinik Önemi*

Pilates egzersiz grubunda hem MÖYKÖ hem de Beck Depresyon Ölçeği puanlarında ön test ile son test arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark saptanmıştır ($p<0,05$). Bu bulgu, pilates egzersizinin postmenopozal dönemde hem yaşam kalitesini artırdığına hem de psikolojik durumu iyileştirdiğine işaret etmektedir. Klinik açıdan bu dönem kadınlar için özellikle önem taşımakta; hormon replasman tedavisinin yanı sıra farmakolojik olmayan müdahalelere yönelik kanıt tabanını güçlendirmektedir. Bulguların menopoz dönemindeki depresyon şiddeti ile egzersiz süresi arasındaki doz-yanıt ilişkisini daha ayrıntılı inceleyecek çalışmalarla desteklenmesi önerilmektedir.

3.4. COVID-19 Pandemi Sürecinde İnternet Üzerinden Uygulanan Mat Pilates Egzersizlerinin Depresyon ve Uyku Kalitesi Üzerine Etkisi (Demir ve ark., 2023)

3.4.1. *Çalışmanın Genel Çerçevesi*

IGUSABDER dergisinde yayımlanan bu çalışma (20(2023): 625-635), pandemi döneminin kendine özgü koşullarında kadın üniversite öğrencilerinde internet tabanlı mat pilates uygulamasının etkinliğini değerlendirmiştir. 22 katılımcıya Zoom aracılığıyla 8 hafta, haftada 3 gün, 45-60 dakikalık pilates programı uygulanmıştır. Çalışma, kontrol grubu bulunmayan tek grup ön-son test tasarımıyla yürütülmüştür.

3.4.2. *Yöntemsel Değerlendirme*

Bu çalışmanın en belirgin metodolojik kısıtı, kontrol grubu bulunmamasıdır. Kontrol grubu yokluğunda gözlenen iyileşmelerin pilates egzersizine mi, pandemi koşullarındaki doğal seyre mi yoksa diğer karıştırıcı değişkenlere mi bağlı olduğunu ayırt etmek mümkün değildir. Bununla birlikte çalışma, pandemi döneminde yüz yüze egzersizin pratik olarak uygulanamadığı bir ortamda gerçekleştirilmiş olması nedeniyle hem metodolojik hem de içerik açısından değerli bir katkı sunmaktadır. İnternet tabanlı pilates uygulamasının fizibilite ve etkinliğine ilişkin literatürdeki nadir çalışmalardan biri olması da özgün değerini artırmaktadır.

Çalışmada uygulanan ölçüm araçları (BDÖ, PUKİ, SF-36, VAS) hem Türk örnekleminde geçerlenmiş hem de uluslararası literatürde geniş ölçüde kullanılan araçlardır. 22 kişilik örneklem, tek grup tasarımıyla birleşince etki büyüklüğünü güvenilir biçimde tahmin etmeyi güçleştirmektedir.

3.4.3. Bulgular ve Klinik Önemi

24 seanslık egzersiz programı sonrasında BDÖ ($p=0,001$), PUKİ ($p=0,001$) ve VAS ($p=0,001$) değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı iyileşmeler saptanmıştır. SF-36 ile ölçülen yaşam kalitesinde ise anlamlı bir değişim gözlemlenmemiştir. İnternet üzerinden uygulanan pilates egzersizinin depresyon ve uyku kalitesi üzerindeki iyileştirici etkisi, pandemi döneminin ruh sağlığı yükünü hafifletmede bu tür uzaktan müdahalelerin potansiyel rolünü gündeme getirmektedir. Bu bulgu, özellikle spor tesislerine erişimi kısıtlı olan popülasyonlar (yaşlılar, kırsal bölge sakinleri, hareket güçlüğü yaşayanlar) için dijital pilates programlarının klinisyenler tarafından değerlendirilmesine zemin oluşturmaktadır.

3.5. Fibromiyalji Hastalarında Torakal Mobilizasyon Egzersizlerinin Etkinliğinin Araştırılması (Çiftçi, 2024)

3.5.1. Çalışmanın Genel Çerçevesi

Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü bünyesinde tamamlanan bu yüksek lisans tezi (2024), fibromiyalji tanılı 40 hastada (20 kontrol, 20 torakal mobilizasyon grubu) geleneksel fizyoterapiye ek olarak uygulanan torakal bölge mobilizasyon egzersizlerinin ağrı, anksiyete, depresyon, semptom yükü ve otonom sinir sistemi üzerindeki etkilerini randomize kontrollü bir yöntemle incelemiştir.

3.5.2. Yöntemsel Değerlendirme

Bu çalışma, derlemeye dahil edilen çalışmalar arasında en geniş klinik hasta popülasyonunu içermekte ve otonom sinir sistemi işlevini (E-motion-Faros cihazıyla SNS/PNS indeks skoru) değerlendiren tek çalışma olma özelliği taşımaktadır. Randomizasyon yöntemi, dahil etme/dışlama kriterleri ve standart ölçüm araçları (VAS, BDÖ, BAÖ, FEA) açısından metodolojik standartlara uyum yüksek görünmektedir.

Çalışmanın önemli bir sınırlılığı, değerlendirilen egzersiz türünün saf pilates değil torakal mobilizasyon egzersizi olmasıdır; bu nedenle bulgular pilates literatürüne doğrudan aktarılırken dikkatli olunması gerekmektedir. Bununla birlikte torakal mobilizasyon ve pilates egzersizleri arasındaki anatomik ve işlevsel örtüşme —her ikisi de omurga stabilitesi, solunum ve nöromusküler aktivasyona odaklanmaktadır— bu çalışmanın bu derleme kapsamına alınmasını gerekçelendirmektedir. 11 seanslık kısa müdahale süresi de uzun dönem sürdürülebilirlik açısından değerlendirme yapılmasını kısıtlamaktadır.

3.5.3. Bulgular ve Klinik Önemi

Her iki grupta grup içi değişimler istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,05$). Gruplar arası karşılaştırmada VAS, BDÖ, BAÖ ve FEA skorları torakal mobilizasyon grubu lehine anlamlı farklılık gösterirken otonom disfonksiyon göstergeleri olan SNS ve PNS indeks skorları gruplar arasında anlamlı biçimde farklılaşmamıştır. Fibromiyalji, kronik ağrı, psikolojik distres ve otonom sinir sistemi disfonksiyonunun bir arada görüldüğü karmaşık bir klinik tablodur. Bu nedenle egzersizin hem ağrı hem de psikolojik değişkenler üzerinde eş zamanlı iyileştirici etkiler göstermesi, fibromiyalji yönetiminde bütüncül yaklaşımların önemine güçlü bir kanıt sunmaktadır.

4. GENEL TARTIŞMA

4.1. Pilates ve Depresyon: Mevcut Kanıtların Gücü

Derlemeye dahil edilen beş çalışmadan dördü (Sanioglu & Maçkalı, 2021; Özdemir & Uysal, 2018; Demir ve ark., 2023; Çiftçi, 2024) depresyon düzeylerinde anlamlı iyileşmeler bildirmiştir. Yalnızca Saltan (2018) depresyon belirtileri açısından anlamlı bir fark saptayamamıştır; ancak bu durumun 12 haftalık sürenin kısalığına, yetersiz istatistiksel güce veya pilates programının depresyon üzerindeki etkiden çok postür odaklı tasarlanmasına bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Bu sonuçlar, pilates egzersizinin depresyon üzerindeki etkisini meta-analiz düzeyinde ele alan Fleming & Herring (2018) ve Mokhtari ve ark. (2013) gibi uluslararası çalışmalarla tutarlılık göstermektedir. Pilates egzersizinin depresyonu azaltmadaki olası mekanizmaları arasında; endorfin ve serotonin gibi nörotransmitterlerin salınımının artması, öz-yeterlilik ve beden farkındalığının gelişmesi, nefes kontrolü aracılığıyla sempatik sinir sistemi aktivitesinin düzenlenmesi ve grup egzersizinin sağladığı sosyal destek sayılabilir.

4.2. Pilates ve Anksiyete: Ortaya Çıkan Kanıtlar

Anksiyete, depresyona kıyasla pilates literatüründe daha az incelenmiştir. Ancak bu derlemede ele alınan çalışmalarda anksiyete üzerindeki etkiler de tutarlı biçimde olumlu yönde gözlemlenmiştir. Sanioglu & Maçkalı (2021) deney grubunda Beck Anksiyete Ölçeği puanlarında anlamlı bir azalma bildirirken Çiftçi (2024) fibromiyalji hastalarında benzer sonuçlara ulaşmıştır. Akbaş & Ünver (2018) ile Fleming & Herring (2018)'in uluslararası

bulgularıyla da örtüşen bu sonuçlar, pilates egzersizinin kaygı yönetiminde kullanılabilecek etkili bir araç olabileceğine işaret etmektedir.

4.3. Özel Popülasyonlarda Pilates: Postmenopozal Dönem, Pandemi ve Fibromiyalji

Derlemenin özgün katkılarından biri, pilates egzersizinin farklı klinik bağlamlarda ele alınmasıdır. Postmenopozal dönemde Özdemir & Uysal (2018)'in bulguları; bu dönemin hormonal, psikolojik ve sosyal güçlüklerini göz önüne alındığında, pilatesin farmakolojik tedavinin yanı sıra veya alternatif olarak değerlendirilebilecek bir müdahale olduğunu düşündürmektedir. Demir ve ark. (2023)'ın pandemi döneminde internet tabanlı pilatesin etkinliğini göstermesi, dijital sağlık hizmetlerinin yaygınlaştığı günümüzde pratik klinik uygulamalar açısından büyük önem taşımaktadır. Çiftçi (2024)'nin fibromiyalji hastalarında torakal mobilizasyon egzersizleriyle elde ettiği sonuçlar ise kronik ağrı ve psikolojik komorbiditesi olan hastalarda egzersizin hem fiziksel hem de ruhsal iyiyi olumu desteklediğini teyit etmektedir.

4.4. Metodolojik Sınırlılıkların Bütünsel Değerlendirmesi

Ele alınan çalışmalar bir bütün olarak değerlendirildiğinde bazı ortak metodolojik eksiklikler göze çarpmaktadır. Örneklem büyüklükleri 22 ile 44 arasında değişmekte olup hiçbir çalışmada a priori güç analizi sonuçları bildirilmemiştir. Bu durum, negatif sonuçların gerçek etki yokluğuna mı yoksa tip-II hataya mı bağlı olduğunun belirlenmesini güçleştirmektedir.

Körleme, randomize kontrollü çalışmaların kalitesini değerlendirmede kritik bir kriter olmakla birlikte incelenen çalışmaların hiçbirinde değerlendirici ya da katılımcı körlemesine ilişkin ayrıntılı bilgi sunulmamıştır. Egzersiz müdahalelerinin doğası gereği katılımcı körlemesinin uygulanması güç olsa da değerlendirici körlemesi sağlanabilir bir hedeftir. Çalışmaların büyük çoğunluğu 6–12 haftalık kısa takip dönemleriyle sınırlı kalmakta; pilatesin psikolojik sağlık üzerindeki etkilerinin uzun dönemde sürdürülüp sürdürülemeyeceği sorusu yanıtız kalmaktadır. Tüm çalışmaların yalnızca kadın katılımcıları içermesi, sonuçların erkeklere ve karma gruplara genellenebilirliğini kısıtlamaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Klinik Çıkarımlar

Mevcut kanıtlar, pilates egzersizinin depresyon, anksiyete ve ilgili psikolojik değişkenler üzerinde klinik açıdan anlamlı iyileşmeler sağlayabileceğine işaret etmektedir. Bu bulgular

özellikle postmenopozal dönemdeki kadınlar, pandemi gibi olağandışı koşullarda fiziksel aktiviteye erişimi kısıtlanan bireyler ve fibromiyalji gibi kronik ağrıyla birlikte psikolojik distres yaşayan hastalar için klinik pratik açısından değer taşımaktadır. Sağlık profesyonelleri, pilates egzersizini psikolojik destek programlarının bir parçası olarak değerlendirebilir; ancak standart psikolojik ve farmakolojik tedavilerin yerini alması olarak değil, tamamlayıcı bir yaklaşım olarak konumlandırılmalıdır.

5.2. Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler

Alandaki kanıt tabanını güçlendirmek amacıyla aşağıdaki araştırma önceliklerine ihtiyaç duyulmaktadır:

Daha büyük örneklem ve titiz randomizasyon prosedürleri (a priori güç analizi, tahsis gizlemesi, değerlendirici körlemesi) içeren randomize kontrollü çalışmalar gerçekleştirilmelidir. Pilates egzersizinin etkilerini diğer egzersiz türleriyle (yürüyüş, yoga, direnç egzersizi) karşılaştıran aktif kontrollü çalışmalar, pilatesin özgün katkılarını ortaya koymak açısından değer taşımaktadır. Egzersizin biyolojik etkilerini anlamak için kortizol, BDNF ve nörotransmitter değişkenleri gibi biyobelirteçlerin dahil edilmesi mekanistik kanıt açığını kapatacaktır. Uzun dönemli takip çalışmaları (12 ay ve üzeri), pilatesin psikolojik etkilerinin kalıcılığını değerlendirmek açısından zorunludur. Son olarak erkekler, yaşlılar, farklı klinik popülasyonlar ve farklı kültürel bağlamlar dahil çeşitlendirilmiş örneklemle yapılacak çalışmalar, bulguların genellenebilirliğini artıracaktır.

KAYNAKÇA

Akbaş, E., & Ünver, B. (2018). Genç yetişkin kadınlarda pilates egzersizlerinin psikolojik ve bedensel etkileri. *İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*.

Başoğlu, C., & Buldukoğlu, K. (2015). Depresif bozukluklarda psikososyal girişimler. *Psikiyatri Güncel Yaklaşımlar*, 7(1), 1-15.

Cruz-Ferreira, A., Fernandes, J., Laranjo, L., Bernardo, L. M., & Silva, A. (2011). A systematic review of the effects of pilates method of exercise in healthy people. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 92(12), 2071–2081.

Çiftçi, C. (2024). *Fibromiyalji hastalarında torakal mobilizasyon egzersizlerinin etkinliğinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Üsküdar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Demir, O. B., Karacan, Ç., Çekmece, Ç., Şen, P. N., Genç, S. G., Keskin, C., & Aktaş Arslan, F. C. (2023). Kadın üniversite öğrencilerinde COVID-19 pandemi sürecinde internet üzerinden uygulanan mat pilates egzersizlerinin yaşam kalitesi, depresyon ve uyku kalitesi üzerine olan etkisi. *IGUSABDER*, 20, 625-635.

Fleming, K. M., & Herring, M. P. (2018). The effects of pilates on mental health outcomes: A meta-analysis of controlled trials. *Complementary Therapies in Medicine*, 37, 80-95.

Hassan, E. A., & Amin, M. A. E. H. (2011). Pilates exercises influence on the serotonin hormone, some physical variables and the depression degree in battered women. *World Journal of Sport Sciences*, 5(2), 89–100.

Karataylı, S. (2007). *Gebelerde trimesterler arası depresyon, anksiyete ve diğer ruhsal belirtilerin değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi).

Mokhtari, M., Nezakatalhossaini, M., & Esfarjani, F. (2013). The effect of 12-week pilates exercises on depression and balance associated with falling in the elderly. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 70, 1714–1723.

Özdemir, Ö. Ç., & Uysal, M. F. (2018). Postmenopozal dönemde pilates egzersizlerinin yaşam kalitesi ve depresyon üzerine etkisi. *ACU Sağlık Bil Derg*, 9(1), 25-32.

Saltan, A. (2018). Kadınlarda pilates temelli egzersizin postür, yaşam kalitesi, depresyon belirtileri ve ağrı üzerine etkisinin araştırılması. *F.Ü.Sağ.Bil.Tıp Derg*, 32(1), 31-36.

Sanioğlu, G., & Maçkalı, Z. (2021). Kadınlarda pilates-mat egzersizlerinin psikolojik sağlık üzerine etkisi. *Uluslararası Egzersiz Psikolojisi Dergisi (IntJourExerPsyc)*, 3(1), 37-50.

Schuch, F. B., Vancampfort, D., Richards, J., Rosenbaum, S., Ward, P. B., & Stubbs, B. (2016). Exercise as a treatment for depression: A meta-analysis adjusting for publication bias. *Journal of Psychiatric Research*, 77, 42-51.

Vergili, Ö. (2012). Sedanter kadınlarda 12 haftalık pilates egzersizi programının etkisi: Bir sistematik derleme. *Türk Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Dergisi*.

DİJİTALLEŞME ÇAĞINDA ÇOCUKLARIN FİZİKSEL AKTİVİTE DÜZEYLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN ELEŞTİREL İNCELENMESİ: SİSTEMATİK BİR DERLEME

İlayda ZEYVELİ

İnönü Üniversitesi,

ilayda_zeyveli@icloud.com - ORCID ID : 0009-0004-5179-6675

Doç. Dr. Özgür EKEN

İnönü Üniversitesi,

ozgur.eken@inonu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0002-5488-3158

Doç. Dr. Serpil AKÇINAR

İnönü Üniversitesi,

serpil.akcinar@inonu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9454-0582

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, dijitalleşmenin yoğunlaştığı son dönemde çocukların ve ergenlerin fiziksel aktivite (FA) düzeylerinde meydana gelen değişimleri sistematik bir derleme yaklaşımıyla eleştirel biçimde incelemektir. PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus ve Cochrane Library veri tabanları taranarak, öncelikle 2020-2026 yılları arasında yayımlanmış, doğrulanmış ölçüm araçları kullanan hakemli sistematik derleme, meta-analiz ve büyük ölçekli gözlem çalışmaları seçilmiştir. Bulgular dört başlık altında toplanmıştır: küresel eğilimler ve fiziksel hareketsizlik, ekran süresi ve sedanter davranışla ilişki, COVID-19 pandemisinin hızlandırdığı dijitalleşme ve dijital teknolojinin etkin kullanımı (exergaming / aktif video oyunları). Sentezlenen kanıtlar, ergenlerin yaklaşık beşte dördünün küresel ölçekte yetersiz düzeyde aktif olduğunu, ekran temelli sedanter davranışın FA'yı kısmen yerinden ettiğini ve pandemi döneminde toplam FA'da yaklaşık %20 oranında bir azalma yaşandığını göstermektedir. Buna karşın aktif video oyunlarının kontrollü koşullarda FA'yı orta düzeyde artırabildiği bulunmuştur. Cinsiyet temelli analizler, kız çocuklarının her bağlamda daha hareketsiz olduğunu ortaya koymakta; bu durum yetişkinlik dönemi kemik sağlığı ve kadın sağlığı açısından kritik bir risk oluşturmaktadır. Mevcut literatürün başlıca kısıtlılıkları kesitsel tasarımların baskınlığı, öz bildirime dayalı ölçüm, yüksek istatistiksel heterojenlik ve düşük-orta gelirli ülkelerin yetersiz temsilidir. Çalışma, ölçüm araçlarının küresel düzeyde uyumlulaştırılması, boylamsal ve nesnel ölçümlü araştırmaların artırılması ve dijital çağda kız

çocuklarının hareketsizliğinin uzun vadeli kadın sağlığına etkilerinin önceliklendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: fiziksel aktivite, çocuklar, ergenler, dijitalleşme, ekran süresi, sedanter davranış, kadın sağlığı

A CRITICAL REVIEW OF CHANGES IN CHILDREN'S PHYSICAL ACTIVITY LEVELS IN THE AGE OF DIGITALIZATION: A SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT

This systematic review critically examines changes in children's and adolescents' physical activity (PA) levels during the era of intensifying digitalization. PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus and the Cochrane Library were searched, prioritizing peer-reviewed systematic reviews, meta-analyses and large-scale observational studies published between 2020 and 2026 that used validated PA measurement tools. Findings are organized under four themes: global trends and physical inactivity; the association between screen time, sedentary behaviour and PA; the COVID-19 pandemic as an accelerator of digitalization; and the constructive use of digital technology (exergaming / active video games). The synthesized evidence indicates that roughly four out of five adolescents are insufficiently active worldwide, that screen-based sedentary behaviour partially displaces PA, and that total PA declined by approximately 20% during the pandemic. Conversely, active video games can moderately increase PA under controlled conditions. Sex-stratified analyses consistently show that girls are less active across contexts, posing a critical long-term risk for adult bone health and women's health. The principal limitations of the literature are the predominance of cross-sectional designs, reliance on self-report, high statistical heterogeneity and the under-representation of low- and middle-income countries.

Keywords: physical activity, children, adolescents, digitalization, screen time, sedentary behaviour, women's health

1. GİRİŞ

Düzenli fiziksel aktivite (FA), çocukluk ve ergenlik döneminde kardiyovasküler sağlık, kas-iskelet gelişimi, metabolik denge, bilişsel işlevler ve psikolojik iyi oluş için temel bir

belirleyicidir. Dünya Sağlık Örgütü'nün 2020 rehberi, 5-17 yaş grubundaki çocuk ve ergenlerin haftalık ortalamada günde en az 60 dakika orta-yüksek şiddetli fiziksel aktivite (OYŞFA) gerçekleştirmesini, sedanter ve özellikle rekreasyonel ekran süresini ise sınırlandırmasını önermektedir (Bull ve diğerleri, 2020). Buna karşın küresel gözetim verileri, ergenlerin büyük çoğunluğunun bu eşiği karşılayamadığını ve hareketsizliğin yıllar içinde kalıcılaştığını ortaya koymaktadır (Guthold ve diğerleri, 2020).

Son yirmi yılda akıllı telefonların, tabletlerin, dijital oyun konsollarının ve sosyal medya platformlarının yaygınlaşması, çocukların günlük zaman bütçesini köklü biçimde yeniden biçimlendirmiştir. Dijitalleşme; bir yandan ekran temelli sedanter davranışı artırarak FA için ayrılan zamanı yerinden etme (displacement) potansiyeli taşıırken, diğer yandan exergaming ve aktif video oyunları (AVO) gibi araçlarla hareketi teşvik edebilecek yeni olanaklar da sunmaktadır. Bu nedenle dijitalleşmenin FA üzerindeki etkisi tek yönlü bir 'zarar' anlatısına indirgenemeyecek kadar çok katmanlıdır ve eleştirel bir bakış gerektirmektedir.

COVID-19 pandemisi sırasında uygulanan okul kapatmaları, sosyal mesafe ve karantina önlemleri, dijital ortamlara geçişi hızlandırarak bu süreçleri âdeta doğal bir deney koşulunda gözlemlenebilir kılmıştır (Neville ve diğerleri, 2022; Kharel ve diğerleri, 2022). Ayrıca dijital çağda gözlenen hareketsizliğin cinsiyetler arasında eşit dağılmadığı; kız çocuklarının hem başlangıçta daha düşük FA düzeyine sahip olduğu hem de ergenlik boyunca daha keskin bir düşüş yaşadığı bilinmektedir (Ricardo ve diğerleri, 2022; Araujo ve diğerleri, 2024). Bu eşitsizlik, çocukluk ve ergenlik döneminde edinilen FA'nın doruk kemik kütlesi (peak bone mass) üzerindeki belirleyici rolü göz önüne alındığında, uzun vadeli kadın sağlığı açısından özel bir önem kazanmaktadır (Karlsson ve Rosengren, 2020; Proia ve diğerleri, 2021).

Bu derlemenin amacı, dijitalleşme çağında çocukların FA düzeylerindeki değişimleri konu alan güncel ve yüksek kanıt değerli çalışmaları sistematik biçimde bir araya getirmek; bulguları yöntemsel güçlü ve zayıf yönleriyle eleştirel olarak değerlendirmek; araştırma boşluklarını belirlemek ve spor bilimleri ile kadın sağlığı alanlarına yönelik kanıta dayalı öneriler sunmaktır. Çalışma şu araştırma sorularına yanıt aramaktadır:

- (i) Dijitalleşme çocukların FA düzeylerini hangi yön ve büyüklükte etkilemektedir?
- (ii) Ekran temelli sedanter davranış ile FA arasındaki ilişki nasıl bir nitelik taşımaktadır?
- (iii) Dijital teknoloji FA'yı destekleyici bir araç olarak kullanılabilir mi?

(iv) Bu süreçlerde cinsiyet farklılıkları ve kadın sağlığı açısından hangi sonuçlar ortaya çıkmaktadır?

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Tasarımı

Bu çalışma, sistematik derleme/narratif sentez niteliğinde olup raporlama, PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) ilkeleri rehber alınarak yürütülmüştür. Konunun çok boyutlu ve heterojen yapısı nedeniyle, nicel bir meta-analiz yerine, yüksek kanıt değerli ikincil çalışmaların (sistematik derleme ve meta-analizlerin) eleştirel sentezine dayalı bir yaklaşım benimsenmiştir.

2.2. Bilgi Kaynakları ve Tarama Stratejisi

Tarama; PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, Cochrane Library ve PEDro veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Anahtar kavramlar Boole operatörleri ile birleştirilmiştir: ("physical activity" OR "sedentary behaviour" OR "moderate-to-vigorous physical activity") AND ("screen time" OR "digital media" OR "digitalization" OR "exergaming" OR "active video games") AND ("children" OR "adolescents" OR "youth"). Tarama, Türkçe ve İngilizce yayınları kapsayacak biçimde yapılmış; ek kaynaklar, dâhil edilen çalışmaların kaynakçaları taranarak (kartopu yöntemi) belirlenmiştir.

2.3. Dâhil Etme ve Dışlama Ölçütleri

Dâhil etme ölçütleri:

- (a) örneklemin ≤ 18 yaş çocuk ve ergenlerden oluşması;
- (b) FA, sedanter davranış veya ekran süresinin doğrulanmış araçlarla (akselerometre/pedometre ya da geçerliği gösterilmiş anketler) ölçülmesi;
- (c) hakemli dergilerde yayımlanmış olması;
- (d) öncelikli olarak 2020-2026 döneminde yayımlanmış olması.

Konunun temel kavramsal çerçevesini oluşturan, daha eski tarihli ancak alan için belirleyici nitelikteki kaynaklar (örneğin doruk kemik kütlesi literatürü) bağlamsal destek amacıyla korunmuştur. Dışlama ölçütleri: hakem değerlendirmesinden geçmemiş ön baskılar (preprint), editöre mektup, ölçüm aracı bildirilmeyen çalışmalar ve yalnızca yetişkin örneklemini içeren araştırmalardır.

2.4. Kanıt Değerlendirmesi

Dâhil edilen birincil ve ikincil çalışmaların yöntemsel kalitesi; tasarım türü, örneklem büyüklüğü, ölçüm yöntemi (nesnel/öznel), yanlılık riski araçlarının (örneğin ROBINS-E, Newcastle-Ottawa Ölçeği, AMSTAR) kullanımı ve kanıt kesinliği derecelendirmesi (GRADE) ölçütleri açısından eleştirel olarak incelenmiştir. Bulgular, dört tematik başlık altında sentezlenmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Küresel Eğilimler ve Fiziksel Hareketsizliğin Yaygınlığı

Çocuk ve ergenlerde FA'nın küresel gözetimine ilişkin en kapsamlı kanıt, 1,6 milyon ergeni içeren 298 nüfus temelli araştırmanın havuzlanmış analizinden gelmektedir. Bu analizde, 2016 yılında 11-17 yaş ergenlerinin yaklaşık %81'inin önerilen FA düzeyini karşılamadığı ve 2001-2016 arasında bu oranda anlamlı bir iyileşme gözlenmediği rapor edilmiştir (Guthold ve diğerleri, 2020). Eşit derecede önemli bir bulgu, hareketsizliğin kız çocuklarında ($\approx$ %85) erkek çocuklara ($\approx$ %78) kıyasla daha yaygın olmasıdır. Benzer biçimde, 146 ülke/bölgeden 707.616 ergeni kapsayan bir analiz, haftada en az bir gün ≥ 60 dakika OYŞFA yapma oranının yaş ilerledikçe ve özellikle kız çocuklarında düştüğünü; cinsiyet farkının ileri ergenlikte belirginleştiğini göstermiştir (Araujo ve diğerleri, 2024).

Bununla birlikte, Aubert ve diğerleri (2021), kıtalar arası gözetim girişimleri arasında tanım, ölçüm aracı ve eşik değerlerine ilişkin önemli tutarsızlıklar bulunduğunu; bu durumun ulusal yaygınlık tahminlerini ve ülkeler arası karşılaştırmaları güvenilir kılabilmediğini vurgulamaktadır. Yine de sekiz büyük girişimin tamamında üç bulgu istikrarlı biçimde tekrarlanmaktadır: dünya genelinde yetersiz FA düzeyi, kız çocuklarında daha düşük FA ve yaşla birlikte FA'nın azalması. Bu metodolojik tutarsızlık, alanın en temel araştırma boşluklarından birine işaret etmektedir.

3.2. Ekran Süresi, Sedanter Davranış ve Fiziksel Aktivite İlişkisi

Ekran temelli sedanter davranışın FA üzerindeki etkisi, basit bir 'yer değiştirme' (displacement) hipoteziyle açıklanandan daha karmaşıktır. Geniş kapsamlı bir derleme, akıllı telefon ve televizyon gibi araçlardan kaynaklanan ekran süresinin çocuk ve ergenlerde obezite, kardiyometabolik risk, kas-iskelet gelişimi ile bilişsel ve psikolojik sağlık üzerinde olumsuz etkiler taşıdığını; ancak düzenli FA'nın bu zararları önemli ölçüde önleyebildiğini veya hafifletebildiğini ortaya koymaktadır. Pandemi bağlamında yürütülen sistematik bir derlemede

ise ekran süresi ile ergenlerde metabolik sendrom bileşenleri arasında doz-yanıt niteliğinde anlamlı bir olumsuz ilişki saptanmış; bununla birlikte dâhil edilen çalışmaların çoğunlukla kesitsel olması ve yalnızca 'orta' düzeyde yanlılık puanı taşıması nedensellik çıkarımını sınırlandırmıştır (Musa ve diğerleri, 2022).

Eleştirel açıdan, 'ekran süresi'nin tek tip (monolitik) bir değişken olarak ele alınması yanıltıcı olabilir. Pasif izleme (video/televizyon) ile etkileşimli, eğitsel veya sosyal kullanım, FA ile farklı biçimlerde ilişkilenebilmektedir. Bu nedenle güncel literatür, toplam ekran süresinden ziyade ekran kullanımının türüne ve bağlamına odaklanmanın önemine işaret etmektedir.

3.3. COVID-19 Pandemisi: Dijitalleşmenin Hızlandırıcısı

COVID-19 pandemisi, dijitalleşmeye bağlı hareketsizliği geniş ölçekte gözlemlemek için bir doğal deney işlevi görmüştür. Doğrulanmış ölçüm araçları kullanan 22 çalışmadan (46 bağımsız örneklem, 14.216 katılımcı) elde edilen meta-analiz, pandemi öncesinden pandemi dönemine toplam günlük FA'da yaklaşık %20'lik bir azalma olduğunu; yüksek şiddetli aktivitelerdeki düşüşün ise %32'ye ulaştığını (günde yaklaşık 17 dakikalık OYŞFA kaybı) bildirmiştir (Neville ve diğerleri, 2022). Avrupa bölgesine odaklanan bir başka meta-analizde toplam FA için standartlaştırılmış ortalama fark (SMD) -0,57; OYŞFA için -0,43 olarak hesaplanmış (günde $\approx$ 12 dakikalık, yani WHO önerisinin %20'sine denk gelen bir azalma); okul kapatmalarının düşüşle ilişkili olduğu ve en çok orta çocukluk ile ergenlik gruplarının etkilendiği gösterilmiştir. Ancak GRADE değerlendirmesine göre kanıt kesinliği 'düşük' bulunmuştur (Ludwig-Walz ve diğerleri, 2023).

On dört ülkeden 119.094 katılımcılı 57 çalışmayı kapsayan bir meta-analiz, FA'nın tüm yaş gruplarında cinsiyetten bağımsız olarak azaldığını ve nesnel ölçüm kullanan çalışmaların tamamının bu düşüşü doğruladığını rapor etmiştir (Wunsch ve diğerleri, 2022). Sedanter davranışın karşı kutbunda ise çocukların en fazla etkilenen grup olduğu görülmektedir: bir meta-analizde çocukların sedanter sürelerinin günde ortalama $\approx$ 159,5 dakika arttığı ve ekran süresinin toplam sedanter zamanın yaklaşık yarısını oluşturduğu saptanmıştır (Runacres ve diğerleri, 2021). Otuz beş ülkeden 71 çalışmayı sentezleyen bir derleme, daha katı karantina koşullarının FA'da daha büyük düşüş ve ekran süresinde daha keskin artışla ilişkili olduğunu; ancak çalışmaların çoğunun kesitsel tasarımlı ve 'orta-zayıf' kalitede olduğunu ve düşük-orta gelirli ülkelerin yetersiz temsil edildiğini vurgulamıştır (Kharel ve diğerleri, 2022).

3.4. Dijitalleşmenin Çift Yönlü Doğası: Exergaming ve Aktif Video Oyunları

Dijital teknoloji yalnızca hareketsizliğin değil, FA teşvikinin de aracı olabilir. Boylamsal AVO müdahalelerine odaklanan bir meta-analiz, aktif video oyunlarının FA üzerinde orta düzeyde olumlu bir etki ürettiğini (Hedges $g = 0,525$) göstermiş; etkinin nesnel ölçümlerde ($g = 0,586$) öznel ölçümlere ($g = 0,301$) kıyasla daha güçlü olduğunu, ancak çalışmalar arası heterojenliğin çok yüksek olduğunu ($I^2 = \%87,7$) bildirmiştir (Moller ve diğerleri, 2023). Bir ağ meta-analizinde AVO'ların orta, orta-yüksek ve yüksek şiddetli FA düzeylerine ulaşmada ve beden kütle indeksi (BKİ) ile vücut yağını azaltmada etkili olduğu; dans temelli oyunların BKİ düşüşünde en etkili alt kategori olduğu saptanmıştır (Ho ve diğerleri, 2022).

Fazla kilolu/obez çocuklarda yürütülen sistematik derleme ve meta-analizler, AVO'ların BKİ, vücut yağ yüzdesi ve kardiyorespiratuar uygunluk üzerinde olumlu etkiler sağladığını ortaya koymaktadır (Comeras-Chueca ve diğerleri, 2021a). Sağlıklı kiloya sahip çocuklarda ise yararlar, müdahale 18 haftadan uzun sürdüğünde BKİ'de ve kardiyorespiratuar uygunlukta belirginleşmekte; kas uygunluğu ve motor yeterlik üzerindeki etkiler ise kanıt yetersizliği nedeniyle belirsiz kalmaktadır (Comeras-Chueca ve diğerleri, 2021b). Bu bulgular, AVO'ların geleneksel FA'nın yerine geçen değil, onu tamamlayan bir araç olarak; özellikle yapılandırılmış ve yeterince uzun süreli programlar içinde değerli olabileceğini düşündürmektedir.

3.5. Cinsiyet Farklılıkları ve Kız Çocukları

Cinsiyet temelli analizler, dijital çağda hareketsizliğin kız çocuklarını orantısız biçimde etkilediğini tutarlı olarak göstermektedir. Küresel Güney'deki 64 ülkeyi kapsayan bir analizde, erkek çocukların FA yaygınlığının kız çocuklarına kıyasla ortalama 1,58 kat daha yüksek olduğu; en büyük eşitsizliklerin paradoksal biçimde yüksek gelirli ülkelerde gözlendiği bulunmuştur (Ricardo ve diğerleri, 2022). İki yüz binden fazla Latin Amerikalı çocuk ve ergeni içeren bir çalışmada da erkek çocukların FA rehber ölçütlerini karşılama olasılığının daha yüksek olduğu doğrulanmıştır (Brazo-Sayavera ve diğerleri, 2021). Pandemi dönemine ilişkin bazı sentezler, kız çocuklarının ekran süresindeki artışa erkek çocuklardan daha yatkın olduğunu da düşündürmektedir.

Çizelge 1. Derlemeye Dâhil Edilen Başlıca Yüksek Kanıt Değerli Çalışmaların Özeti

Çalışma (yıl)	Tasarım	Örneklem / Kapsam	Temel Bulgu
Guthold ve diğerleri (2020)	Havuzlanmış analiz	298 araştırma; 1,6 milyon ergen	Ergenlerin $\approx$ %81'i yetersiz aktif; kızlar erkeklerden daha hareketsiz; 2001-2016 arası iyileşme yok.
Neville ve diğerleri (2022)	Meta-analiz	22 çalışma; 14.216 katılımcı	Pandemide toplam FA $\approx$ %20, yüksek şiddetli FA $\approx$ %32 azaldı (günde $\approx$ 17 dk OYŞFA kaybı).
Ludwig-Walz ve diğerleri (2023)	Meta-analiz	26 yayın; Avrupa bölgesi	Toplam FA SMD $-0,57$; OYŞFA $-0,43$; okul kapatmaları düşüşle ilişkili; kanıt kesinliği düşük.
Kharel ve diğerleri (2022)	Sistematisik derleme	71 çalışma; 35 ülke	FA azaldı, ekran süresi arttı; katı karantınada etki büyüdü; çalışmalar çoğunlukla kesitsel.
Moller ve diğerleri (2023)	Meta-analiz	19 RKÇ	AVO'lar FA'yı orta düzeyde artırdı ($g = 0,525$); yüksek heterojenlik ($I^2 = \%87,7$).
Ho ve diğerleri (2022)	Ağ meta-analizi	12 RKÇ	AVO'lar FA'yı artırdı, BKİ/yağı azalttı; dans temelli oyunlar BKİ için en etkili.
Ricardo ve diğerleri (2022)	Meta-analiz	64 ülke (Küresel Güney)	Erkeklerde FA yaygınlığı kızların 1,58 katı; en büyük eşitsizlik yüksek gelirli ülkelerde.

FA: Fiziksel Aktivite; OYŞFA: Orta-Yüksek Şiddetli Fiziksel Aktivite; AVO: Aktif Video Oyunları; BKİ: Beden Kütle İndeksi; RKÇ: Randomize Kontrollü Çalışma; SMD: Standartlaştırılmış Ortalama Fark.

Kaynak: Yazarlar tarafından derlenmiştir.

4. TARTIŞMA

4.1. Bulguların Eleştirel Değerlendirmesi

Sentezlenen kanıtlar, dijitalleşme ile çocukların FA düzeyleri arasındaki ilişkinin yönünü (genel olarak olumsuz) tutarlı biçimde desteklemektedir; ancak bu ilişkinin doğrudan bir nedensellik mi yoksa ortak değişkenlerin (sosyoekonomik durum, çevresel olanaklar, ebeveyn davranışları) aracılık ettiği bir örüntü mü olduğu büyük ölçüde belirsizdir. 'Yer değiştirme' hipotezi sezgisel olarak çekici olsa da, kanıtlar ekran kullanımının her türünün FA ile yarışmadığını göstermektedir; bazı etkileşimli ve aktif dijital kullanımlar FA'yı destekleyebilmektedir (Moller ve diğerleri, 2023; Ho ve diğerleri, 2022). Dolayısıyla 'dijitalleşme çocukları hareketsizleştirir' biçimindeki indirgemeci bir anlatı, kanıtların ortaya koyduğu çift yönlü tabloyu eksik yansıtmaktadır.

Pandemi döneminin sağladığı doğal deney, dijital ortamlara ani geçişin FA üzerindeki olumsuz etkisini büyük örneklemelerle ortaya koymuştur (Neville ve diğerleri, 2022; Wunsch ve diğerleri, 2022). Bununla birlikte pandemi, izole bir 'dijitalleşme' etkisi değil; aynı anda hareket kısıtlamaları, okul ve spor tesislerinin kapanması, psikososyal stres ve aile rutinlerinin bozulması gibi çok sayıda etkenin bir arada bulunduğu olağanüstü bir bağlamdır. Bu nedenle pandemi bulgularının, pandemi sonrası 'normal' dijitalleşme koşullarına doğrudan genellenmesi temkinli yapılmalıdır.

4.2. Çalışmaların Metodolojik Güçlü ve Zayıf Yönleri

Güçlü yönler: Alanın temel kanıt tabanı, doğrulanmış ölçüm araçlarını zorunlu kılan (Neville ve diğerleri, 2022), önceden kayıtlı protokollere ve PRISMA raporlamasına dayanan, ROBINS-E ve GRADE gibi çağdaş yanlılık/kesinlik değerlendirmelerini kullanan büyük ölçekli meta-analizlerden oluşmaktadır (Ludwig-Walz ve diğerleri, 2023). Küresel gözetim çalışmalarının milyonlarca katılımcıya ulaşan örneklemeleri, tahminlerin istatistiksel kararlılığını artırmaktadır (Guthold ve diğerleri, 2020; Araujo ve diğerleri, 2024).

Zayıf yönler:

- (i) Kesitsel tasarımların baskınlığı nedensellik çıkarımını ciddi biçimde sınırlandırmaktadır (Kharel ve diğerleri, 2022; Musa ve diğerleri, 2022).
- (ii) Öz bildirime dayalı FA ve ekran süresi ölçümleri; geri çağırma yanlılığı ve sosyal beğenilirlik etkisine açıktır ve nesnel akselerometre verileriyle düşük uyum gösterebilir.

(iii) Meta-analizlerde gözlenen çok yüksek istatistiksel heterojenlik (çoğunlukla $I^2 > \%90$), havuzlanmış etki büyüklüklerinin yorumlanmasını güçleştirmektedir (Moller ve diğerleri, 2023).

(iv) Kanıt tabanı büyük ölçüde yüksek gelirli ülkelere dayanmakta; düşük-orta gelirli ülkeler, okul dışı çocuklar, kırsal nüfuslar ve engelli/kronik hastalığı olan çocuklar yetersiz temsil edilmektedir (Aubert ve diğerleri, 2021; Kharel ve diğerleri, 2022).

(v) 'Ekran süresi' ölçümlerindeki tanım ve eşik farklılıkları, çalışmalar arası karşılaştırmayı zorlaştırmaktadır.

4.3. Araştırma Boşlukları (Research Gaps)

Mevcut literatürün ışığında öne çıkan başlıca araştırma boşlukları şunlardır:

1. Küresel ölçekte uyumlulaştırılmış, geçerli ve güvenilir bir FA ölçüm aracının geliştirilmesi bir halk sağlığı önceliğidir (Aubert ve diğerleri, 2021).
2. Nesnel ölçüm (akselerometre) kullanan ve özellikle düşük-orta gelirli ülkelerde yürütülen boylamsal çalışmalara gereksinim vardır.
3. Toplam ekran süresi yerine ekran kullanımının türüne (pasif izleme, etkileşimli oyun, eğitsel/sosyal kullanım) göre ayrıştırılmış analizler azdır.
4. Exergaming müdahalelerinin uzun vadeli sürdürülebilirliği, gerçek yaşam koşullarındaki ekolojik geçerliği ve programa bağlılığı (adherence) yeterince incelenmemiştir (Comeras-Chueca ve diğerleri, 2021b).
5. Cinsiyet/toplumsal cinsiyet çoğunlukla yalnızca alt grup analizi düzeyinde ele alınmakta; müdahalelerin tasarım ve değerlendirilmesinde sistematik biçimde içselleştirilmemektedir.
6. Dijital çağda kız çocuklarındaki hareketsizliğin yetişkinlik dönemi kadın sağlığına (kemik, kardiyometabolik ve üreme sağlığı) uzun vadeli etkilerini doğrudan inceleyen araştırmalar son derece sınırlıdır.

4.4. Spor Bilimleri ve Kadın Sağlığı Açısından Değerlendirme

Cinsiyet farklılıklarına ilişkin tutarlı bulgular, dijital çağda hareketsizliğin kadın sağlığı açısından özel bir önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Çocukluk ve ergenlik, doruk kemik kütlelerinin (peak bone mass) edinildiği kritik bir penceredir; yetişkin doruk kemik mineralinin yaklaşık yarısı ergenlik döneminde, %80'inden fazlası ise 18 yaşına kadar biriktirilmektedir

(Proia ve diğerleri, 2021). Bu dönemde düzenli, ağırlık taşıyan FA, daha yüksek kemik mineral içeriği ve yoğunluğu ile daha büyük kemik boyutu sağlamak ve uzun vadede kırık riskini belirgin biçimde azaltmaktadır (Karlsson ve Rosengren, 2020).

Kız çocuklarının erkeklere kıyasla hem daha düşük FA düzeyine sahip olması hem de ergenlikte daha keskin bir düşüş yaşaması (Ricardo ve diğerleri, 2022; Araujo ve diğerleri, 2024), dijital çağda bu kritik kemik biriktirme penceresinin kadınlar aleyhine daraldığı anlamına gelmektedir. Yetersiz doruk kemik kütlesi, ileri yaşlarda osteoporoz ve kırık riskini artırmakta; bu da menopoza sonrası dönemde kadınların orantısız biçimde maruz kaldığı bir halk sağlığı yüküne dönüşmektedir. Dolayısıyla kız çocuklarında çocukluk ve ergenlik dönemindeki hareketsizlik, yalnızca güncel bir sorun değil, yaşam boyu süren kadın sağlığı için bir 'yatırım kaybı' olarak değerlendirilmelidir. Bu çerçevede, spor bilimleri ile kadın sağlığı arasında kanıt dayalı bir köprü kurulmasını zorunlu kılmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu derleme, dijitalleşme çağında çocukların ve ergenlerin FA düzeylerinin küresel ölçekte yetersiz kaldığını, ekran temelli sedanter davranışın FA'yı kısmen yerinden ettiğini ve COVID-19 pandemisinin bu eğilimi geçici fakat belirgin biçimde derinleştirdiğini göstermektedir. Buna karşın dijital teknoloji, exergaming ve aktif video oyunları aracılığıyla -özellikle yapılandırılmış ve yeterince uzun programlarda- FA'yı destekleyen bir araç hâline gelebilmektedir. Cinsiyet farklılıkları tutarlı biçimde kız çocukları aleyhinedir ve bu durum, doruk kemik kütlesi üzerinden uzun vadeli kadın sağlığı açısından kritik bir risk oluşturmaktadır. Bununla birlikte kanıt tabanı; kesitsel tasarımların baskınlığı, öz bildirime dayalı ölçüm, yüksek heterojenlik ve düşük-orta gelirli ülkelerin yetersiz temsili nedeniyle temkinli yorumlanmalıdır.

Spor bilimleri alanına yönelik öneriler:

1. Okul temelli beden eğitimi programlarında nesnel ölçüm (akselerometre) yaygınlaştırılmalı; FA, sedanter davranış ve uyku 24 saatlik hareket bütünlüğü çerçevesinde ele alınmalıdır.
2. Aktif video oyunları, geleneksel FA'nın yerine değil onu tamamlayan bir bileşen olarak; en az 18 hafta süreli, çok bileşenli ve yapılandırılmış müdahaleler içinde kullanılmalıdır (Comeras-Chueca ve diğerleri, 2021b; Ho ve diğerleri, 2022).

3. Müdahaleler 'pasif' ekran kullanımını azaltmaya odaklanmalı; etkileşimli ve aktif dijital kullanımı teşvik eden, ekran kullanımının türüne duyarlı stratejiler geliştirilmelidir.
4. Cinsiyete duyarlı program tasarımı benimsenmeli; kız çocuklarının FA'sının önündeki psikososyal, kültürel ve çevresel engelleri hedefleyen özgün uygulamalar geliştirilmelidir.

Kadın sağlığı alanına yönelik öneriler:

1. Çocukluk ve ergenlik döneminde ağırlık taşıyan, yüksek şiddetli FA'nın doruk kemik kütlesi üzerindeki belirleyici rolü, kadın sağlığı politikalarının bir parçası olarak okul çağından itibaren önceliklendirilmelidir (Karlsson ve Rosengren, 2020; Proia ve diğerleri, 2021).
2. Kız çocuklarında ergenlikteki keskin FA düşüşü erken bir uyarı işareti olarak izlenmeli; bu dönem osteoporoz, kardiyometabolik hastalık ve mental sağlık sorunlarının birincil önlenmesi için stratejik bir fırsat penceresi olarak değerlendirilmelidir.
3. Spor bilimleri ve kadın sağlığı disiplinleri arasında çok merkezli, boylamsal ve cinsiyete duyarlı araştırma iş birlikleri kurulmalı; dijital çağda hareketsizliğin yaşam boyu kadın sağlığına etkileri sistematik olarak araştırılmalıdır.

Sonuç olarak, dijitalleşme çocukların FA düzeyleri için hem bir risk hem de bir fırsattır. Belirleyici olan, teknolojinin varlığı değil; onun nasıl, hangi türde ve hangi bağlamda kullanıldığıdır. Kanıta dayalı, cinsiyete duyarlı ve yaşam seyri perspektifini benimseyen politika ve uygulamalar, bu fırsatın değerlendirilmesinde belirleyici rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

Araujo, R. H. O., Werneck, A. O., Martins, C. L., Barboza, L. L., Tassitano, R. M., Aguilera-Farias, N., ... Silva, D. R. P. (2024). Global prevalence and gender inequalities in at least 60 min of self-reported moderate-to-vigorous physical activity 1 or more days per week: An analysis with 707,616 adolescents. *Journal of Sport and Health Science*, 13(5), 709-716.

<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2023.10.011>

Aubert, S., Brazo-Sayavera, J., González, S. A., Janssen, I., Manyanga, T., Oyeyemi, A. L., ... & Tremblay, M. S. (2021). Global prevalence of physical activity for children and

adolescents; inconsistencies, research gaps, and recommendations: a narrative review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 18(1), 81.

<https://doi.org/10.1186/s12966-021-01155-2>

Brazo-Sayavera, J., Aubert, S., Barnes, J. D., González, S. A., & Tremblay, M. S. (2021). Gender differences in physical activity and sedentary behavior: Results from over 200,000 Latin-American children and adolescents. *PloS one*, 16(8), e0255353.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255353>

Bull, F. C., Al-Ansari, S. S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M. P., Cardon, G., ... Willumsen, J. F. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, 54(24), 1451-1462.

<https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>

Comeras-Chueca, C., Marin-Puyalto, J., Matute-Llorente, A., Vicente-Rodriguez, G., Casajus, J. A., & Gonzalez-Aguero, A. (2021a). Effects of active video games on health-related physical fitness and motor competence in children and adolescents with overweight or obesity: Systematic review and meta-analysis. *JMIR Serious Games*, 9(4), e29981.

<https://doi.org/10.2196/29981>

Comeras-Chueca, C., Villalba-Heredia, L., Perez-Llera, M., Lozano-Berges, G., Marin-Puyalto, J., Vicente-Rodriguez, G., ... Gonzalez-Aguero, A. (2021b). The effects of active video games on health-related physical fitness and motor competence in children and adolescents with healthy weight: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(13), 6965.

<https://doi.org/10.3390/ijerph18136965>

Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2020). Global trends in insufficient physical activity among adolescents: A pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants. *The Lancet Child & Adolescent Health*, 4(1), 23-35.

[https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(19\)30323-2](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(19)30323-2)

Ho, R. S.-T., Chan, E. K.-Y., Liu, K. K.-Y., & Wong, S. H.-S. (2022). Active video game on children and adolescents' physical activity and weight management: A network meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 32(8), 1268-1286.

<https://doi.org/10.1111/sms.14176>

Karlsson, M. K., & Rosengren, B. E. (2020). Exercise and peak bone mass. *Current Osteoporosis Reports*, 18(3), 285-290.

<https://doi.org/10.1007/s11914-020-00588-1>

Kharel, M., Sakamoto, J. L., Carandang, R. R., Ulambayar, S., Shibamura, A., Yarotskaya, E., ... & Jimba, M. (2022). Impact of COVID-19 pandemic lockdown on movement behaviours of children and adolescents: a systematic review. *BMJ global health*, 7(1).

<https://doi.org/10.1136/bmjgh-2021-007190>

Ludwig-Walz, H., Siemens, W., Heinisch, S., Dannheim, I., Loss, J., & Bujard, M. (2023). How the COVID-19 pandemic and related school closures reduce physical activity among children and adolescents in the WHO European Region: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 20(1), 149.

<https://doi.org/10.1186/s12966-023-01542-x>

Moller, A. C., Sousa, C. V., Lee, K. J., Alon, D., & Lu, A. S. (2023). Active video game interventions targeting physical activity behaviors: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e45243.

<https://doi.org/10.2196/45243>

Musa, S., Dergaa, I., Bachiller, V., & Saad, H. B. (2022). COVID-19 and screen-based sedentary behaviour: Systematic review of digital screen time and metabolic syndrome in adolescents. *PLOS ONE*, 17(3), e0265560.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265560>

Neville, R. D., Lakes, K. D., Hopkins, W. G., Tarantino, G., Draper, C. E., Beck, R., & Madigan, S. (2022). Global changes in child and adolescent physical activity during the COVID-19 pandemic: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Pediatrics*, 176(9), 886-894.

<https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2022.2313>

Proia, P., Amato, A., Drid, P., Korovljev, D., Vasto, S., & Baldassano, S. (2021). The impact of diet and physical activity on bone health in children and adolescents. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 704647.

<https://doi.org/10.3389/fendo.2021.704647>

Ricardo, L. I. C., Wendt, A., Galliano, L. M., de Andrade Muller, W., Cruz, G. I. N., Wehrmeister, F., ... Crochemore-Silva, I. (2022). Gender inequalities in physical activity among adolescents from 64 Global South countries. *Journal of Sport and Health Science*, 11(4), 509-520.

<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2022.01.007>

Runacres, A., Mackintosh, K. A., Knight, R. L., Sheeran, L., Thatcher, R., Shelley, J., & McNarry, M. A. (2021). Impact of the COVID-19 pandemic on sedentary time and behaviour in children and adults: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11286.

<https://doi.org/10.3390/ijerph182111286>

Wunsch, K., Kienberger, K., & Niessner, C. (2022). Changes in physical activity patterns due to the COVID-19 pandemic: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2250.

<https://doi.org/10.3390/ijerph19042250>

OKUL SPORLARI VE SOSYAL BECERİ GELİŞİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİYE YÖNELİK GÜNCEL LİTERATÜRÜN ELEŞTİREL ANALİZİ

İlayda ZEYVELİ

İnönü Üniversitesi,

ilayda_zeyveli@icloud.com - ORCID ID: 0009-0004-5179-6675

Doç. Dr. Özgür EKEN

İnönü Üniversitesi,

ozgur.eken@inonu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-5488-3158

Doç. Dr. Serpil AKÇINAR

İnönü Üniversitesi,

serpil.akcinar@inonu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9454-0582

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, okul ortamında gerçekleştirilen okul sporları ve beden eğitimi uygulamalarının çocuk ve ergenlerin sosyal beceri gelişimi üzerindeki etkisini inceleyen güncel literatürü eleştirel bir bakış açısıyla sentezlemektir. Çalışma, anlatı unsurlarıyla desteklenmiş sistematik bir derleme olarak tasarlanmıştır. PubMed/MEDLINE, Web of Science, Scopus, SPORTDiscus, Cochrane Library ve PEDro veri tabanları taranmış; öncelikli olarak 2021-2026 yılları arasında yayımlanan, hakemli ve indeksli sistematik derleme, meta-analiz ve özgün araştırmalar değerlendirmeye alınmıştır. Türkiye bağlamını yansıtmak üzere ulusal hakemli dergilerde yayımlanmış ilgili çalışmalara da yer verilmiştir. Kanıtlar kategorik olarak sentezlenmiş ve yöntemsel kalite eleştirel biçimde tartışılmıştır. Güncel kanıtlar, okul sporu ve beden eğitimine katılımın sosyal sonuçlarla tutarlı biçimde olumlu yönde ilişkili olduğunu, ancak sosyal alandaki etki büyüklüklerinin küçükten ortaya değiştiğini ve fiziksel/psikomotor alanın gerisinde kaldığını göstermektedir. Takım sporlarının bireysel sporlara kıyasla daha tutarlı sosyal yararlar sağladığı; etkinin yapılandırılmış, kasıtlı (intentional) ve nitelikli yetişkin rehberliğinde yürütülen programlarda arttığı bildirilmektedir. Buna karşılık bütüncül okul temelli müdahalelerde sosyal bileşene yönelik kanıtın yetersiz ve az çalışılmış olduğu; çalışmalar arası yüksek heterojenlik, ölçüm standardizasyonu eksikliği,

öz-bildirime aşırı bağımlılık ve baskın biçimde kesitsel tasarımların geçerli nedensel çıkarımı sınırladığı görülmektedir. Sonuç olarak, okul sporları sosyal beceri gelişimi için umut verici fakat tek başına yeterli olmayan bir bağlamdır; sosyal kazanımlar otomatik değil, pedagojik olarak kasıtlı tasarıma bağlıdır. Alanın ön kayıtlı, randomize kontrollü ve uzun süreli boylamsal tasarımlarla, geçerli ve standart ölçüm araçlarıyla güçlendirilmesi gerekmektedir. Gelecekteki literatür ve saha uygulamaları açısından, cinsiyet eşitliğini gözeten kapsayıcı ve özellikle kız çocuklarının katılımını önceliklendiren program modellerinin geliştirilmesi önemli bir ihtiyaç olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Okul sporu, Beden eğitimi, Sosyal beceri, Sosyal-duygusal öğrenme, Çocuk ve ergen.

A CRITICAL ANALYSIS OF THE CURRENT LITERATURE ON THE RELATIONSHIP BETWEEN SCHOOL SPORTS AND SOCIAL SKILL DEVELOPMENT

ABSTRACT

The aim of this study is to synthesize the current literature examining the impact of school sports and physical education practices on the social skill development of children and adolescents from a critical perspective. The study is designed as a systematic review supported by narrative elements. PubMed/MEDLINE, Web of Science, Scopus, SPORTDiscus, Cochrane Library, and PEDro databases were searched; primarily, peer-reviewed and indexed systematic reviews, meta-analyses, and original research published between 2021 and 2026 were evaluated. To reflect the Turkish context, relevant studies published in national peer-reviewed journals were also included. Evidence was synthesized categorically, and methodological quality was critically discussed. Current evidence shows that participation in school sports and physical education is consistently positively correlated with social outcomes, but the magnitude of the social effect varies from small to medium, lagging behind the physical/psychomotor domain. Team sports are reported to provide more consistent social benefits compared to individual sports; the effect is reported to be increased in structured, intentional programs conducted with qualified adult guidance. In contrast, evidence regarding the social component in holistic school-based interventions is insufficient and understudied, with high interstudy heterogeneity, lack of measurement standardization, overreliance on self-report, and predominantly cross-sectional designs limiting valid causal inferences. Consequently, school sports are a promising but insufficient context for social skill development; social gains are not

automatic but depend on pedagogically deliberate design. The field needs to be strengthened with pre-registered, randomized controlled, and longitudinal designs, and valid and standardized measurement tools. For future literature and field applications, the development of inclusive program models that consider gender equality and prioritize the participation of girls is a significant need.

Keywords: School sport, Physical education, Social skills, Social-emotional learning, Children and adolescents.

1. GİRİŞ

Okul, çocuk ve ergenlerin yalnızca bilişsel değil, aynı zamanda sosyal ve duygusal gelişimlerinin de biçimlendiği temel kurumsal bağlamdır. Bu bağlamda beden eğitimi ve okul sporları; bireyin kişisel ve fiziksel gelişimini destekleyen, kurallı ve düzenli bir faaliyet alanı olarak yalnızca motor becerileri değil, kişilerarası iletişim, gruba dâhil olma, özgüven kazanma ve duygusal düzenleme gibi sosyal becerileri de geliştirebilecek bir öğrenme ortamı sunmaktadır (Yıldız ve Çetin, 2018). Nitekim spor; oyun, rekabet ve iş birliğini bir arada barındıran doğası gereği bireylerin sosyal çevrelerini genişletmekte ve sosyal davranış repertuarlarını gözlemleyerek edinmelerine olanak tanımaktadır (Yıldız ve Çetin, 2018).

Spor, diğer fiziksel aktivite biçimlerinden ayrılan, yapılandırılmış, kurallı ve hedef yönelimli bir etkinlik türüdür. Fiziksel, bilişsel ve sosyal fırsatları aynı yapı içinde sunması, sporu psikolojik sağlık ve sosyal gelişim açısından kendine özgü bir bağlam hâline getirmektedir (Wade vd., 2026). Benzer biçimde sosyal-duygusal öğrenme (Social-Emotional Learning, SEL) çerçevesi; öz farkındalık, öz yönetim, ilişki becerileri ve sorumlu karar verme gibi yetkinlikleri okul temelli müdahalelerin merkezine yerleştirmekte ve bu becerilerin akran ilişkileri, okul iklimi ve akademik başarı ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Cipriano vd., 2023). Bu kavramsal çerçeveler, beden eğitimi ve okul sporlarının sosyal beceri gelişimine katkı potansiyelini teorik olarak desteklemektedir.

Bununla birlikte, sporun sosyal kazanımları otomatik biçimde ürettiği varsayımı eleştirel biçimde sorgulanması gereken bir konudur. Spora katılım ile olumlu gelişim arasındaki ilişkinin doğrusallığı kimi araştırmacılar tarafından tartışmaya açılmış; sosyal kazanımların büyük ölçüde bağlamsal ve pedagojik koşullara bağlı olduğu vurgulanmıştır (Almeida vd., 2025). Bu durum, ‘ne kadar spor’ sorusunun ötesine geçerek ‘hangi koşullarda ve nasıl tasarlanmış spor’ sorusunu öne çıkarmaktadır.

Bu çalışma; okul sporları ve beden eğitiminin çocuk ve ergenlerin sosyal beceri gelişimi üzerindeki etkisine ilişkin güncel ve nitelikli kanıtları kategorik biçimde sentezlemeyi, kanıtların yöntemsel sağlamlığını eleştirel olarak değerlendirmeyi ve hem uluslararası hem de Türkiye bağlamına ilişkin tutarlılık ve boşlukları ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, anlatı unsurlarıyla desteklenmiş sistematik bir derleme olarak tasarlanmıştır. Literatür taramasında PubMed/MEDLINE, Web of Science, Scopus, SPORTDiscus, Cochrane Library ve PEDro veri tabanları kullanılmıştır. Değerlendirmeye öncelikli olarak 2021-2026 yılları arasında yayımlanmış, hakemli ve indeksli sistematik derleme, meta-analiz ve özgün araştırma niteliğindeki çalışmalar alınmıştır. Konunun ulusal görünümünü yansıtabilmek amacıyla, beden eğitimi/okul sporları ile sosyalleşme ve sosyal beceri arasındaki ilişkiyi ele alan ve ulusal hakemli dergilerde yayımlanmış çalışmalara da yer verilmiştir.

İncelenen çalışmalardan elde edilen kanıtlar;

- (i) katılım-sosyal sonuç ilişkisinin genel görünümü,
- (ii) etki büyüklüğü ve sosyal alanın diğer öğrenme alanlarına göre konumu,
- (iii) spor türünün (takım/bireysel) rolü,
- (iv) program tasarımı ve yetişkin rehberliğinin önemi,
- (v) bütüncül okul temelli müdahalelerde sosyal bileşenin durumu,
- (vi) kapsayıcılık, özel gereksinim ve cinsiyet boyutu
- (vii) yöntemsel kalite başlıkları altında kategorik olarak sentezlenmiştir.

Her kategoride bulgular yalnızca özetlenmemiş; aynı zamanda araştırma desenleri, ölçüm yaklaşımları ve nedensellik iddiaları açısından eleştirel biçimde değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR VE SENTEZ

3.1. Katılım ile Sosyal Sonuçlar Arasındaki Genel İlişki

Güncel ve geniş kapsamlı kanıtlar, spora katılımın sosyal sonuçlarla tutarlı biçimde olumlu yönde ilişkili olduğunu göstermektedir. 17.017 kayıt arasından seçilen 189 çalışmayı kapsayan bir sistematik derlemede, spora katılımın gelişmiş kişilerarası beceriler, olumlu

sosyal (prososyal) davranış ve aidiyet duygusu gibi sosyal çıktılarla ilişkili olduğu; deneysel kanıtların ise duygusal düzenleme, dayanıklılık ve prososyal davranış üzerinde olası nedensel etkilere işaret ettiği bildirilmiştir (Wade vd., 2026). Boylamsal araştırmaları temel alan bir başka meta-analizde, gençlik sporuna katılımın takip süresi bir ile elli dört yıl arasında değişen örneklemelerde fiziksel aktivite ile sağlık ve iyi oluş üzerinde düşükten ortaya değişen olumlu etkiler gösterdiği saptanmıştır (Bengtsson vd., 2025).

Türkiye bağlamında elde edilen bulgular bu genel eğilimle uyumludur. Ergenlerle yürütülen bir araştırmada, beden eğitimi ve spor dersine katılım ile sosyal beceri düzeyleri arasında orta düzeyde, pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur (Özsaydı, 2024). Ortaokul öğrencileriyle gerçekleştirilen ilişkisel bir çalışmada da beden eğitimi ve spora yönelik tutum ile sosyal beceri arasında düşük düzeyde fakat pozitif bir ilişki ($r = 0,22$) saptanmış; tutum arttıkça sosyal beceri düzeyinin de artma eğiliminde olduğu rapor edilmiştir (Özsarı ve Öztürk Çelik, 2021). Benzer biçimde okul spor faaliyetlerinin öğrencilerin sosyalleşme ve sosyal bütünleşmelerine katkı sağladığı; spor yapma yılı ve dalını tekrar etme sıklığı arttıkça sosyal bütünleşme düzeyinin yükseldiği belirlenmiştir (Hacıcaferoğlu ve Sümer, 2019).

3.2. Etki Büyüklüğü ve Sosyal Alanın Diğer Öğrenme Alanlarına Göre Konumu

İlişkilerin yönü tutarlı biçimde olumlu olmakla birlikte, sosyal alandaki etki büyüklüklerinin sınırlı kaldığı ve özellikle fiziksel/psikomotor alanın gerisinde yer aldığı eleştirel biçimde vurgulanmalıdır. Beden eğitimi temelli müdahalelerin öğrenme ve gelişim çıktıları üzerindeki etkisini inceleyen, 135 çalışma ve 42.500'ün üzerinde katılımcıyı kapsayan bir meta-analizde tüm çıktılar genelinde ortalama etkinin küçükten ortaya değiştiği (Cohen $d = 0,32$; yayın yanlılığı için düzeltilindiğinde $d = 0,40$) belirlenmiştir. Etki büyüklüklerinin alanlara göre ayrıştırıldığı analizde en yüksek etki psikomotor alanda ($d = 0,52$), ardından duyuşsal alanda ($d = 0,47$) gözlenirken, sosyal alandaki etki ($d = 0,32$) bunların gerisinde kalmıştır (Dudley vd., 2022). Bu bulgu, sporun sosyal getirilerinin fiziksel getirilerine kıyasla daha kırılğan ve koşula bağlı olduğunu düşündürmektedir.

İlkokul öğrencilerinde fiziksel aktivitenin sosyal-duygusal yetkinlik üzerindeki etkisini inceleyen 12 çalışmalık bir meta-analizde de etki büyüklüğü orta düzeye yakın fakat sınırlı bulunmuştur ($d = 0,37$; %95 GA 0,20-0,55) (Fu vd., 2025). Bu nicel kanıtlar bir araya getirildiğinde, sosyal kazanımların büyüklük açısından mütevazı düzeyde kaldığı ve fiziksel/psikomotor kazanımlarla aynı güçte olmadığı sonucuna ulaşılmaktadır.

3.3. Spor Türünün Rolü: Takım ve Bireysel Sporlar

Kanıtlar, takım sporlarının bireysel sporlara kıyasla daha tutarlı sosyal yararlar sağladığına işaret etmektedir. Geniş kapsamlı sistematik derlemede takım sporlarının, bireysel sporlara göre daha güçlü ve daha tutarlı yararlarla ilişkili olduğu raporlanmıştır (Wade vd., 2026). Otizm spektrum bozukluğu olan çocuk ve ergenlerde farklı egzersiz türlerinin sosyallik ve iletişim üzerindeki etkisini karşılaştıran bir ağ meta-analizinde, spor oyunları (SMD = 1,12) ve grup top sporları (SMD = 1,06) gibi yapılandırılmış ve etkileşim yoğun etkinliklerin pasif kontrollere kıyasla sosyallik açısından en yüksek etkileri ürettiği gösterilmiştir (Kou vd., 2024). Bu bulgular, sosyal becerilerin gelişiminde sporun yalnızca fiziksel yönünün değil, içerdiği iş birliği, rol paylaşımı ve karşılıklı bağımlılık gibi sosyal mimarinin belirleyici olduğunu düşündürmektedir.

3.4. Yapılandırılmış ve Kasıtlı Tasarım ile Yetişkin Rehberliği

Sosyal kazanımların ortaya çıkmasında programın pedagojik olarak kasıtlı (intentional) biçimde tasarlanması ve nitelikli yetişkin rehberliği kritik öneme sahiptir. İlkokul öğrencileriyle yürütülen meta-analizde, yapılandırılmış fiziksel aktivite müdahalelerinin sosyal-duygusal yetkinlik üzerinde daha üstün etkiler ürettiği; etkinin müdahale türü ve süresi gibi değişkenler tarafından anlamlı biçimde düzenlendiği (moderasyon) belirlenmiştir (Fu vd., 2025). 30 çalışmayı kapsayan bir sistematik derlemede ise sporun olumlu gelişime katkısının; psikolojik ve fiziksel güvenlik, yetişkinlerin ve mentorların varlığı ile etkin katılımı, olumlu sosyal etkileşimler ve gençlere söz hakkı ile karar süreçlerine katılım olanağı tanınması gibi bağlamsal etmenlere bağlı olduğu vurgulanmıştır (Almeida vd., 2025). Benzer biçimde ahlaki ve sosyal gelişimi açıkça hedefleyen, kültürel değerlerle uyumlu biçimde tasarlanan beden eğitimi programlarının öğrencilerin sosyal yetkinliklerine katkı sağladığı bildirilmektedir (Jadwiszczak vd., 2025). Bu bulgular bütünüyle, sosyal kazanımların sporun ‘yan ürünü’ değil, bilinçli pedagojik tasarımın bir çıktısı olduğunu ortaya koymaktadır.

3.5. Bütüncül Okul Temelli Müdahalelerde Sosyal Bileşenin Durumu

Sosyal alandaki en belirgin kanıt boşluğu, bütüncül biçimde kavramsallaştırılmış okul temelli müdahalelerde ortaya çıkmaktadır. Çocukların fiziksel okuryazarlığını bütüncül biçimde ele alan müdahaleleri inceleyen bir sistematik derlemede, 12 müdahalenin tamamı fiziksel alanı değerlendirmiş ve bu alanda güçlü olumlu kanıt elde edilmişken; duyuşsal ve bilişsel alanlarda kanıt karışık bulunmuş, fiziksel okuryazarlığın sosyal bileşenlerini iyileştirdiğine dair ise herhangi bir kanıt ulaşılamamıştır. Üstelik araştırmacılar bu sosyal

bileşenin açıkça ‘az çalışılmış’ olduğunu belirtmiştir (Jerebine vd., 2024). Bu durum, okul temelli programların fiziksel hedefleri önceliklendirirken sosyal hedefleri ölçme ve raporlama bakımından ihmal ettiğine işaret etmekte ve alandaki sistematik bir boşluğu görünür kılmaktadır.

3.6. Kapsayıcılık, Özel Gereksinim ve Cinsiyet Boyutu

Kanıtlar, sporun sosyal getirilerinin tüm gruplar için eşit dağılmadığını ve kapsayıcı tasarımın önemini ortaya koymaktadır. Otizm spektrum bozukluğu olan bireylerde yapılandırılmış grup etkinliklerinin sosyallik ve iletişim üzerinde belirgin yararlar sağladığı (Kou vd., 2024); fiziksel aktivite müdahalelerinin sosyal-duygusal yetkinlik üzerindeki etkisinin özel gereksinimli çocuklarda tipik gelişen akranlarına kıyasla daha yüksek olduğu (Fu vd., 2025) bildirilmiştir. Engelli çocuk ve ergenlerin okul temelli fiziksel aktiviteye katılımını inceleyen nitel bir meta-sentezde ise akranlar, öğretmenler ve okul personelinden oluşan sosyal çevrenin katılım üzerinde belirleyici bir tema olduğu saptanmıştır (Deng vd., 2025). Cinsiyet açısından ise dikkat çekici bir asimetri bulunmaktadır: Türkiye örneğinde erkek öğrencilerin beden eğitimi dersine katılım puanlarının daha yüksek olmasına karşın, kız öğrencilerin sosyal beceri düzeylerinin anlamlı biçimde daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Özsaydı, 2024). Bu bulgu, kız çocuklarının katılımını artırmaya yönelik kapsayıcı ve cinsiyet duyarlı program modellerinin geliştirilmesine duyulan ihtiyacı somutlaştırmaktadır.

3.7. Yöntemsel Kalite ve Kanıtın Sınırlılıkları

Olumlu eğilimlere karşın, mevcut kanıtın yöntemsel olarak önemli sınırlılıklar taşıdığı eleştirel biçimde belirtilmelidir. Geniş kapsamlı sistematik derlemede, dâhil edilen çalışmaların çoğunun öz-bildirim verilerine dayandığı ve ön kayıt (pre-registration) içermediği; gözlemsel ve yarı-deneysel çalışmaların ise karıştırıcı değişkenler ve sosyal beğenilirlik yanlılığından etkilendiği bildirilmiştir (Wade vd., 2026). Sosyal-duygusal öğrenme alanındaki çağdaş meta-analizde, 424 çalışma ve 575.361 öğrenciyi kapsayan büyük bir kanıt tabanına rağmen müdahale içeriği, bağlamı ve uygulama kalitesindeki belirgin heterojenliğin sonuçları anlamlı biçimde düzenlediği (moderasyon) vurgulanmıştır (Cipriano vd., 2023). Ahlaki ve sosyal gelişime ilişkin sistematik derlemede de çalışmaların yöntemsel çeşitliliğinin doğrudan karşılaştırmaları sınırlandırdığı; meta-analizlerin ve standartlaştırılmış değerlendirme yöntemlerinin gerekliliği belirtilmiştir (Jadwiszczak vd., 2025). Bu sınırlılıklara, Türkiye literatürünün de büyük ölçüde paylaştığı, baskın biçimde kesitsel ve ilişkisel tarama desenlerinin nedensel çıkarımı engellemesi (Özsarı ve Öztürk Çelik, 2021;

Hacıcaferoğlu ve Sümer, 2019) ve fiziksel okuryazarlığın sosyal bileşeninin yeterince çalışılmamış olması (Jerebine vd., 2024) eklenmelidir.

4. TARTIŞMA

Bu derlemede sentezlenen kanıtlar, birbiriyle ilişkili dört temel örüntüye işaret etmektedir. Birincisi, okul sporu ve beden eğitime katılımın sosyal sonuçlarla ilişkisi yön bakımından tutarlı biçimde olumludur; ancak bu ilişkinin gücü, özellikle sosyal alanda mütevazı düzeydedir ve fiziksel/psikomotor alanın gerisinde kalmaktadır (Dudley vd., 2022; Fu vd., 2025; Wade vd., 2026). Bu tablo, sporun sosyal yararlarının abartılmaması ve fiziksel kazanımlarla aynı kesinlikte sunulmaması gerektiğini düşündürmektedir.

İkincisi, sosyal kazanımlar sporun otomatik bir çıktısı değildir; büyük ölçüde tasarıma bağlıdır. Takım ve grup temelli, etkileşim yoğun sporların daha tutarlı sosyal yararlar üretmesi (Kou vd., 2024; Wade vd., 2026) ve yapılandırılmış, kasıtlı tasarımı, nitelikli yetişkin rehberliğinde yürütülen programların etkiyi artırması (Almeida vd., 2025; Fu vd., 2025; Jadwiszczak vd., 2025), sosyal gelişimin pedagojik niyetin bir fonksiyonu olduğunu göstermektedir. Üçüncüsü, bütüncül okul temelli müdahalelerde sosyal bileşen sistematik biçimde ihmal edilmekte ve az çalışılmaktadır (Jerebine vd., 2024). Dördüncüsü ise sosyal getirilerin gruplar arası dağılımının eşitsiz olması, özellikle kız çocuklarının katılımı ve özel gereksinimli bireylerin kapsanması açısından, kapsayıcılık temelli bir tasarım gereksinimini öne çıkarmaktadır (Deng vd., 2025; Fu vd., 2025; Özsaydı, 2024).

Bu örüntülerin tümü, yöntemsel bir uyarıyla birlikte okunmalıdır. Öz-bildirime aşırı bağımlılık, ön kayıt eksikliği, yüksek heterojenlik, ölçüm standardizasyonu yokluğu ve kesitsel desenlerin baskınlığı, mevcut kanıttan güçlü nedensel sonuçlar çıkarmayı sınırlamaktadır (Cipriano vd., 2023; Jadwiszczak vd., 2025; Wade vd., 2026). Türkiye literatürünün bu sınırlılıkları büyük ölçüde paylaşması, ulusal ölçekte de daha güçlü desenlere ve standart araçlara duyulan ihtiyacı görünür kılmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Güncel literatürün eleştirel sentezi, okul sporlarının sosyal beceri gelişimi için umut verici fakat tek başına yeterli olmayan bir bağlam olduğunu ortaya koymaktadır. Sosyal kazanımlar kendiliğinden ve otomatik biçimde ortaya çıkmamakta; takım ve grup temelli yapı, nitelikli yetişkin rehberliği, gençlere söz hakkı tanıyan katılımcı süreçler ve açıkça sosyal

hedefli pedagojik tasarım gibi koşullara bağlı olarak gerçekleşmektedir (Almeida vd., 2025; Fu vd., 2025; Kou vd., 2024).

Araştırma açısından alanın; ön kayıtlı, randomize kontrollü ve uzun süreli boylamsal tasarımlarla, geçerli ve standartlaştırılmış ölçüm araçlarıyla ve öz-bildirim ötesinde çoklu veri kaynaklarıyla güçlendirilmesi gerekmektedir (Cipriano vd., 2023; Jadwiszczak vd., 2025; Wade vd., 2026). Bütüncül okul temelli müdahalelerin sosyal bileşeni açıkça tanımlayıp ölçmesi, bu alandaki belirgin kanıt boşluğunun kapatılması bakımından önceliklidir (Jerebine vd., 2024).

Saha uygulamaları açısından ise sosyal becerileri bir ‘yan ürün’ olarak değil, açık bir öğrenme hedefi olarak ele alan; takım temelli ve iş birliğine dayalı etkinlikleri önceliklendiren; öğretmen ve antrenörlerin sosyal-duygusal rehberlik kapasitesini güçlendiren program modelleri önerilmektedir. Bu modellerin, cinsiyet eşitliğini gözetken, özellikle kız çocuklarının ve özel gereksinimli bireylerin katılımını önceliklendiren kapsayıcı bir çerçevede tasarlanması, hem ulusal hem de uluslararası literatürün işaret ettiği en kritik ihtiyaçlardan biri olarak öne çıkmaktadır (Deng vd., 2025; Özsaydı, 2024).

KAYNAKÇA

Almeida, L., Dias, T., Corte-Real, N., Menezes, I., & Fonseca, A. (2025). Positive youth development through sport and physical education: A systematic review of empirical research conducted with grade 5 to 12 children and youth. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 30(3), 282-308.

<https://doi.org/10.1080/17408989.2023.2230208>

Bengtsson, D., Svensson, J., Wiman, V., Stenling, A., Lundkvist, E., & Ivarsson, A. (2025). Health-related outcomes of youth sport participation: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 22(1), 89.

<https://doi.org/10.1186/s12966-025-01792-x>

- Cipriano, C., Strambler, M. J., Naples, L. H., Ha, C., Kirk, M., Wood, M., Sehgal, K., Zieher, A. K., Eveleigh, A., McCarthy, M., Funaro, M., Ponnock, A., Chow, J. C., & Durlak, J. (2023). The state of evidence for social and emotional learning: A contemporary meta-analysis of universal school-based SEL interventions. *Child Development*, 94(5), 1181-1204. <https://doi.org/10.1111/cdev.13968>
- Deng, Y., Li, X., Huang, J., Haegele, J. A., Smith, B., Williams, T. L., & Li, C. (2025). School-based factors influencing physical activity participation in children and adolescents with disabilities: A qualitative systematic review and meta-synthesis. *Disability and Health Journal*, 18(1), 101707. <https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2024.101707>
- Dudley, D., Mackenzie, E., Van Bergen, P., Cairney, J., & Barnett, L. (2022). What drives quality physical education? A systematic review and meta-analysis of learning and development effects from physical education-based interventions. *Frontiers in Psychology*, 13, 799330. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.799330>
- Fu, S., Wen, P., Wu, J., Li, Z., & Zheng, Y. (2025). The effects of physical activity on social-emotional competence in primary school students: A meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 16, 1657165. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1657165>
- Hacıcaferoğlu, S., & Sümer, H. (2019). Okul spor faaliyetlerinin sporcu öğrencilerin sosyalleşmelerine yönelik katkısını bazı değişkenlere göre incelenmesi. *International Journal of Cultural and Social Studies (IntJCSS)*, 5(2), 704-716.
- Jadwiszczak, M., Wawrzyniak, S., & Pezdek, K. (2025). More than movement: A systematic review of moral and social development in adolescents physical education. *BMC Public Health*, 25, 2076. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-23169-2>
- Jerebine, A., Arundell, L., Watson-Mackie, K., Keegan, R., Jurić, P., Dudley, D., Ridgers, N. D., Salmon, J., & Barnett, L. M. (2024). Effects of holistically conceptualised school-based interventions on children's physical literacy, physical activity, and other outcomes: A systematic review. *Sports Medicine - Open*, 10, 105. <https://doi.org/10.1186/s40798-024-00766-w>
- Kou, R., Li, Z., Li, M., Zhou, R., Zhu, F., Ruan, W., & Zhang, J. (2024). Comparative effectiveness of physical exercise interventions on sociability and communication in children and adolescents with autism: a systematic review and network meta-analysis. *BMC psychology*, 12(1), 712.

<https://doi.org/10.1186/s40359-024-02210-w>

Özsarı, A., & Öztürk Çelik, D. (2021). Farklı okullarda eğitim gören öğrencilerin beden eğitimi ve spora ilişkin tutumları ile sosyal becerileri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-14.

Özsaydı, Ş. (2024). Ergenlik dönemindeki öğrencilerin beden eğitimi ve spor dersine katılımlarının sosyal becerileri üzerine etkisi. *Uluslararası Alan Eğitimi Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 95-109. <https://doi.org/10.54971/synergy.1583210>

Wade, L., Eime, R., Pankowiak, A., Vella, S., Robinson, K., Kennedy, S., Parkes, R., & Eather, N. (2026). The impact of sports participation on psychological health and social outcomes in children and adolescents: A systematic review and update to the “Mental Health through Sport” conceptual model. *Systematic Reviews*, 15, 121. <https://doi.org/10.1186/s13643-026-03104-1>

Yıldız, E., & Çetin, Z. (2018). Sporun psiko-motor gelişim ve sosyal gelişime etkisi. *Hacettepe University Faculty of Health Sciences Journal*, 5(2), 54-66.

<https://doi.org/10.21020/husbfd.427140>

**MESLEK YÜKSEKOKULLARINDA İŞYERİNDE UYGULAMALI EĞİTİMİN
ÖĞRENCİLERİN KARIYER GELİŞİMİNE ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ:
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ TERME MESLEK YÜKSEKOKULU ÖRNEĞİ**

**THE STATISTICAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF WORKPLACE
PRACTICAL TRAINING AT VOCATIONAL COLLEGES ON STUDENTS'
CAREER DEVELOPMENT: THE CASE OF THE TERME VOCATIONAL
COLLEGE AT ONDOKUZ MAYIS UNIVERSITY**

Prof.Dr. EROL TERZİ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

eroltr@omu.edu.tr - 0000-0002-2309-827X

Öğr.Gör. ŞAHİN DEĞİRMENCİ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

sahin.degirmenci@omu.edu.tr – 0000-0003-3655-8404

Arş.Gör. MEHMET ŞİRİN ATEŞ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

mehmet.ates@omu.edu.tr - 0000-0001-9904-6380

ÖZET

Meslek yüksekokulları, sanayi ve hizmet sektörlerinin ihtiyaç duyduğu nitelikli ara elemanların yetiştirilmesinde önemli bir role sahiptir. Teknolojik gelişmeler ve değişen iş gücü piyasası beklentileri, teorik eğitimin uygulamalı eğitimle desteklenmesini zorunlu hale getirmiştir. Bu kapsamda uygulanan 3+1 eğitim modeli, öğrencilerin üç dönem teorik eğitim aldıktan sonra bir dönem iş yerinde uygulamalı eğitim görmelerine olanak sağlayarak mesleki bilgi ve becerilerini gerçek çalışma ortamında geliştirmelerine katkı sunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, işyerinde uygulamalı eğitim alan meslek yüksekokulu öğrencilerinin kariyer gelişimine yönelik algılarının istatistiksel olarak incelenmesidir. Araştırmanın örneklemini, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Terme Meslek Yüksekokulu'nda 3+1 eğitim modeli kapsamında işyerinde uygulamalı eğitimini tamamlayan öğrenciler oluşturmaktadır. Araştırmada veri toplama aracı olarak; kariyer gelişimi, istihdam edilebilirlik, mesleki yeterlilik, iş yaşamına hazırlık ve uygulamalı eğitim memnuniyetini ölçmeye yönelik anket formu kullanılmıştır.

Elde edilen veriler tanımlayıcı istatistiklerin yanı sıra güvenilirlik analizi, faktör analizi, bağımsız örneklem t-testi, tek yönlü varyans analizi (ANOVA), korelasyon ve regresyon analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, işyerinde uygulamalı eğitimin öğrencilerin kariyer planlaması, mesleki özgüveni, sektörel deneyim kazanımı ve istihdam beklentileri üzerinde anlamlı ve olumlu etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Ayrıca öğrencilerin

uygulamalı eğitimden duydukları memnuniyet düzeyi ile kariyer gelişimi algıları arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir.

Araştırma sonuçları, uzun dönem uygulamalı eğitim modelinin öğrencilerin iş yaşamına hazırlanmalarında önemli katkılar sağladığını ve meslek yüksekokullarında sektör-üniversite iş birliğinin güçlendirilmesinin kariyer gelişimini destekleyen temel unsurlardan biri olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulguların, uygulamalı eğitim programlarının geliştirilmesine ve meslek yüksekokullarının eğitim politikalarının şekillendirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Meslek Yüksekokulu, İstihdam Edilebilirlik, 3+1 Eğitim Modeli, Kariyer Gelişimi, İstatistiksel Analiz, İşveren Memnuniyeti.

ABSTRACT

Vocational colleges play a significant role in training qualified mid-level professionals needed by the industrial and service sectors. Technological advancements and changing labor market expectations have made it essential to supplement theoretical education with practical training. In this context, the 3+1 education model enables students to undergo one semester of practical training in the workplace after completing three semesters of theoretical education, thereby helping them develop their professional knowledge and skills in a real-world work environment.

The purpose of this study is to statistically examine the perceptions of vocational college students undergoing practical training in the workplace regarding their career development. The sample for this study consists of students at Ondokuz Mayıs University's Terme Vocational School who have completed their on-the-job practical training under the 3+1 education model. A questionnaire designed to measure career development, employability, professional competence, preparation for the workforce, and satisfaction with practical training was used as the data collection tool in the study.

The data obtained were analyzed using descriptive statistics, as well as reliability analysis, factor analysis, the independent samples t-test, one-way analysis of variance (ANOVA), and correlation and regression analyses. The results of the analyses revealed that on-the-job training has significant and positive effects on students' career planning, professional self-confidence, acquisition of industry experience, and employment expectations. Furthermore, positive and statistically significant relationships were found between students' level of satisfaction with on-the-job training and their perceptions of career development.

The research findings indicate that the long-term practical training model makes significant contributions to preparing students for the workforce and that strengthening industry-university collaboration at vocational colleges is one of the key elements supporting career development. The findings are expected to contribute to the development of practical training programs and the shaping of educational policies at vocational colleges.

Keywords: Vocational College, Employability, 3+1 Education Model, Career Development, Statistical Analysis, Employer Satisfaction.

1. GİRİŞ

Küreselleşme, teknolojik gelişmeler ve dijital dönüşüm süreçleri iş gücü piyasalarında önemli değişimlere neden olmaktadır. İşletmeler, yalnızca teorik bilgiye sahip bireyler yerine mesleki bilgi ve becerilerini uygulama ortamında geliştirmiş, problem çözme yeteneği yüksek ve iş yaşamına uyum sağlayabilen nitelikli çalışanlara ihtiyaç duymaktadır. Bu durum, yükseköğretim kurumlarının eğitim programlarını sektör beklentileri doğrultusunda yeniden yapılandırmalarını gerekli kılmaktadır. Özellikle meslek yüksekokulları, iş dünyasının ihtiyaç duyduğu ara elemanların yetiştirilmesinde kritik bir role sahip olup teorik eğitimin uygulamalı eğitimle desteklenmesi büyük önem taşımaktadır.

Meslek yüksekokulları, öğrencileri belirli bir mesleğe yönelik bilgi ve becerilerle donatarak onları iş yaşamına hazırlayan yükseköğretim kurumlarıdır. Ancak yalnızca sınıf ortamında verilen teorik eğitimin, öğrencilerin iş yaşamında karşılaşacakları gerçek çalışma koşullarını deneyimlemeleri açısından yeterli olmadığı bilinmektedir. Bu nedenle son yıllarda uygulamalı eğitim yaklaşımları ön plana çıkmış ve öğrencilerin eğitim süreçlerinde iş yerleriyle daha fazla etkileşim kurmalarını sağlayan modeller yaygınlaşmıştır. Bu modellerden biri olan 3+1 eğitim modeli, öğrencilerin üç dönem boyunca okulda teorik ve uygulamalı dersler almasının ardından bir dönem boyunca işletmelerde tam zamanlı olarak uygulamalı eğitim görmelerini öngörmektedir.

İşyerinde uygulamalı eğitim, öğrencilerin mesleki bilgi ve becerilerini gerçek çalışma ortamında geliştirmelerine olanak tanırken aynı zamanda iş disiplini, ekip çalışması, iletişim becerileri ve profesyonel iş kültürü gibi önemli yetkinlikler kazanmalarını sağlamaktadır. Öğrenciler bu süreçte sektörel deneyim elde etmekte, mesleklerini daha yakından tanımakta ve kariyer hedeflerini daha bilinçli bir şekilde şekillendirebilmektedir. Ayrıca uygulamalı eğitim süreci, öğrencilerin mezuniyet sonrasında istihdam edilme olasılıklarını artıran önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

Kariyer gelişimi, bireyin mesleki yaşamı boyunca sahip olduğu bilgi, beceri, deneyim ve yetkinliklerin geliştirilmesi sürecini ifade etmektedir. Kariyer gelişimini etkileyen faktörler arasında eğitim düzeyi, mesleki yeterlilik, iş deneyimi, kişisel özellikler ve iş gücü piyasasının beklentileri yer almaktadır. Özellikle öğrencilik döneminde edinilen uygulamalı deneyimler, bireylerin kariyer kararlarını etkileyen ve iş yaşamına geçiş süreçlerini kolaylaştıran önemli unsurlar arasında gösterilmektedir. Bu nedenle işyerinde uygulamalı eğitim uygulamalarının öğrencilerin kariyer gelişimi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, hem eğitim kurumları hem de işverenler açısından önem taşımaktadır.

Literatürde mesleki eğitim ve uygulamalı öğrenme süreçlerinin öğrencilerin mesleki yeterliliklerini, iş yaşamına hazır oluş düzeylerini ve istihdam edilebilirliklerini artırdığına ilişkin çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bununla birlikte, meslek yüksekokullarında uygulanan 3+1 eğitim modelinin öğrencilerin kariyer gelişimine etkisini istatistiksel yöntemlerle inceleyen çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle öğrencilerin uygulamalı eğitim deneyimlerinden duydukları memnuniyet ile kariyer gelişimi algıları arasındaki ilişkinin ortaya konulması, eğitim programlarının geliştirilmesine yönelik önemli bilgiler sağlayacaktır.

Bu araştırmanın amacı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Terme Meslek Yüksekokulu'nda 3+1 eğitim modeli kapsamında işyerinde uygulamalı eğitimlerini tamamlayan öğrencilerin kariyer gelişimine ilişkin algılarını incelemek ve uygulamalı eğitimin kariyer gelişimi üzerindeki etkisini istatistiksel analizler yardımıyla değerlendirmektir. Bu kapsamda öğrencilerin uygulamalı eğitim memnuniyeti, mesleki yeterlilik algısı, iş yaşamına hazırlık düzeyi ve istihdam edilebilirlik algılarının kariyer gelişimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçların, meslek yüksekokullarında uygulamalı eğitim programlarının etkinliğinin artırılmasına, sektör-üniversite iş birliğinin geliştirilmesine ve öğrencilerin kariyer gelişimlerinin desteklenmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

2. UYGULAMALI EĞİTİM, İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Araştırma kapsamında Terme MYO öğrencilerinden İşyeri eğitimi alan öğrencilere uygulanan anketlerden elde edilen veriler elektronik ortama aktarılmış ve istatistiksel paket program aracılığıyla değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde tanımlayıcı istatistikler, güvenilirlik analizi, faktör analizi, bağımsız örneklem t-testi, tek yönlü varyans analizi (ANOVA), korelasyon analizi ve çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemlerinden yararlanılmıştır.

İlk aşamada katılımcıların demografik özelliklerini belirlemek amacıyla frekans, yüzde, aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Bu analizler öğrencilerin cinsiyet, yaş, program, uygulamalı eğitim yaptıkları sektör ve diğer demografik özelliklerine ilişkin genel bir profil oluşturmak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Ölçeğin iç tutarlılığını değerlendirmek amacıyla Cronbach Alpha güvenilirlik katsayısı hesaplanmıştır. Cronbach Alpha katsayısının 0,70 ve üzerinde olması ölçeğin güvenilir olduğunu göstermektedir. Ölçeğin yapı geçerliliğini incelemek amacıyla Açıklayıcı Faktör Analizi (AFA) uygulanmıştır. Faktör analizine uygunluğun belirlenmesinde Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterlilik testi ve Bartlett Küresellik Testi sonuçları dikkate alınmıştır. KMO değerinin 0,60'tan büyük ve Bartlett testinin anlamlı olması ($p < 0,05$) verilerin faktör analizine uygun olduğunu göstermektedir.

Öğrencilerin kariyer gelişimi algılarının demografik değişkenlere göre farklılaşp farklılaşmadığını belirlemek amacıyla iki gruptan oluşan değişkenlerde Bağımsız Örneklem t-Testi, ikiden fazla gruptan oluşan değişkenlerde ise Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) uygulanmıştır. ANOVA sonucunda anlamlı farklılık bulunması durumunda farklılığın hangi gruptan kaynaklandığını belirlemek amacıyla post-hoc çoklu karşılaştırma testlerinden yararlanılmıştır.

Araştırmada yer alan uygulamalı eğitim memnuniyeti, mesleki yeterlilik, iş yaşamına hazırlık, istihdam edilebilirlik ve kariyer gelişimi değişkenleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla Pearson Korelasyon Analizi uygulanmıştır. Korelasyon katsayısının pozitif olması değişkenler arasında aynı yönlü, negatif olması ise ters yönlü ilişki olduğunu göstermektedir.

Son olarak öğrencilerin kariyer gelişimi algılarını etkileyen faktörlerin belirlenmesi amacıyla Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi gerçekleştirilmiştir. Regresyon modelinde kariyer gelişimi bağımlı değişken olarak ele alınırken, uygulamalı eğitim memnuniyeti, mesleki yeterlilik, iş yaşamına hazırlık ve istihdam edilebilirlik algıları bağımsız değişkenler olarak modele dahil edilmiştir. Regresyon analizi sonucunda elde edilen katsayılar, ilgili değişkenlerin kariyer gelişimi üzerindeki etkisinin yönünü ve büyüklüğünü ortaya koymak amacıyla yorumlanmıştır.

Araştırmada tüm istatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$ olarak kabul edilmiş olup, $p < 0,05$ değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Elde edilen bulgular tablolar ve grafikler yardımıyla yorumlanarak işyerinde uygulamalı eğitimin öğrencilerin kariyer gelişimine etkileri değerlendirilmiştir.

Araştırma Modeli : Bağımlı Değişken

- Kariyer Gelişimi

Bağımsız Değişkenler

- Uygulamalı Eğitim Memnuniyeti
- Mesleki Yeterlilik
- İş Yaşamına Hazırlık
- İstihdam Edilebilirlik

Çizelge 1. İşverenlerin staj/iş yeri eğitimi değerlendirme anketi maddelerine ilişkin yanıtlarının frekans ve yüzde dağılımı (n=42)

Madde	Kesinlikle katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle katılıyorum
1. Staj /İşyeri uygulama eğitim modeli hakkında yeterli bilgilendirme yapılmıştır.	0 (0,0%)	1 (2,4%)	0 (0,0%)	2 (4,8%)	39 (92,9%)
2. Staj /İşyeri uygulama eğitimi nitelikli işgücü ihtiyacını gidermede etkilidir.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (2,4%)	5 (11,9%)	36 (85,7%)
3. Staj /İşyeri uygulama eğitimi üniversite-sanayi işbirliğine olumlu katkı sağlar.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	8 (19,0%)	34 (81,0%)
4. Staj /İşyeri uygulama eğitiminin süresi yeterlidir.	2 (4,8%)	0 (0,0%)	2 (4,8%)	3 (7,1%)	35 (83,3%)
5. İzleyici öğretim elemanının işyeri ziyaret sayısı yeterlidir.	2 (4,8%)	2 (4,8%)	3 (7,1%)	3 (7,1%)	32 (76,2%)
6. İzleyici öğretim elemanı karşılaşılan problemlerin giderilmesinde etkilidir.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	3 (7,1%)	5 (11,9%)	34 (81,0%)
7. İzleyici öğretim elemanı ile iletişimimiz yeterli düzeydedir.	1 (2,4%)	0 (0,0%)	2 (4,8%)	4 (9,5%)	35 (83,3%)

8. Öğrenciye bölümünde verilen eğitim faaliyet alanımız ile ilişkilidir.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	2 (4,8%)	6 (14,3%)	34 (81,0%)
9. Öğrenci, iletişime açıktır.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	2 (4,8%)	40 (95,2%)
10. Öğrenci öngörülen sürede mesleki uygulamaya başlamıştır.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (2,4%)	5 (11,9%)	36 (85,7%)
11. Öğrenci, işyerine kolaylıkla uyum sağlamıştır.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	3 (7,1%)	39 (92,9%)
12. Öğrencinin teorik bilgisi mesleki uygulama için yeterlidir.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (2,4%)	10 (23,8%)	31 (73,8%)
13. Öğrenci, kendini geliştirme konusunda yeterli çabayı göstermiştir.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	4 (9,5%)	38 (90,5%)
14. Öğrenci işletmeye katkı sağlamıştır.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (2,4%)	5 (11,9%)	36 (85,7%)
15. Öğrenciyi mezuniyet sonrası işe almak isterim.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	3 (7,1%)	8 (19,0%)	31 (73,8%)
16. Gelecek dönemlerde yeni öğrenci talep etmek isterim.	4 (9,5%)	0 (0,0%)	5 (11,9%)	9 (21,4%)	24 (57,1%)
17. Staj /İşyeri eğitimi uygulamasını sektördeki diğer işletmelere öneririm.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	8 (19,0%)	34 (81,0%)

Çizelge.1'de işverenlerin staj/iş yeri eğitimi değerlendirme anketi maddelerine verdikleri yanıtların frekans ve yüzde dağılımları sunulmuştur. Elde edilen bulgular, işverenlerin staj/iş yeri eğitimi uygulamasına yönelik değerlendirmelerinin genel olarak oldukça olumlu olduğunu göstermektedir. Tüm maddelerde "Katılıyorum" ve "Kesinlikle katılıyorum" yanıtları baskın olup, özellikle **"Öğrenci, iletişime açıktır"** (%95,2), **"Staj/iş yeri uygulama eğitim modeli hakkında yeterli bilgilendirme yapılmıştır"** (%92,9), **"Öğrenci işyerine kolaylıkla uyum sağlamıştır"** (%92,9) ve **"Öğrenci kendini geliştirme konusunda yeterli çabayı göstermiştir"** (%90,5) ifadeleri en yüksek düzeyde olumlu değerlendirme alan maddeler olmuştur.

İşverenler, staj/iş yeri eğitiminin nitelikli iş gücü ihtiyacını karşılamada etkili olduğunu (%97,6), üniversite-sanayi iş birliğine olumlu katkı sağladığını (%100), öğrencilerin mesleki uygulamaya zamanında başladığını (%97,6) ve işletmeye katkı sağladığını (%97,6) büyük oranda kabul etmiştir. Ayrıca izleyici öğretim elemanının öğrencilerle iletişimi ve karşılaşılan problemlerin çözümündeki etkinliği de yüksek oranda olumlu değerlendirilmiştir.

Bununla birlikte, diğer maddelere kıyasla **"Gelecek dönemlerde yeni öğrenci talep etmek isterim"** ifadesinde olumlu yanıt oranının (%78,5) daha düşük olduğu, bu maddede kararsız (%11,9) ve kesinlikle katılmıyorum (%9,5) yanıtlarının da bulunduğu görülmüştür. Benzer şekilde, **"Öğrenciyi mezuniyet sonrası işe almak isterim"** (%92,8) ve **"Öğrencinin teorik bilgisi mesleki uygulama için yeterlidir"** (%97,6) maddelerinde de olumlu görüşler yüksek olmakla birlikte, "kesinlikle katılıyorum" oranlarının diğer maddelere göre nispeten daha düşük olduğu dikkat çekmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, işverenlerin staj/iş yeri eğitimi uygulamasını başarılı buldukları, öğrencilerin iletişim becerileri, iş yerine uyumu ve kişisel gelişim çabalarından memnun oldukları, uygulamanın hem işletmelere hem de üniversite-sanayi iş birliğine önemli katkılar sağladığını düşündükleri söylenebilir. Ancak gelecekte yeniden öğrenci talep etme

konusundaki görece daha düşük olumlu değerlendirmeler, bu konuda iyileştirmeye açık alanların bulunduğunu düşündürmektedir.

Çizelge 2. İşveren değerlendirme anketi maddelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler (n=42)

Madde	Ort±SS	Medyan (IQR)	Min–Maks	Olumlu (%)
1. Staj /İşyeri uygulama eğitim modeli hakkında yeterli bilgilendirme yapılmıştır.	4,81±0,40	5 (5-5)	4–5	100,0
2. Staj /İşyeri uygulama eğitimi nitelikli işgücü ihtiyacını gidermede etkilidir.	4,93±0,26	5 (5-5)	4–5	100,0
3. Staj /İşyeri uygulama eğitimi üniversite-sanayi işbirliğine olumlu katkı sağlar.	4,95±0,22	5 (5-5)	4–5	100,0
4. Staj /İşyeri uygulama eğitiminin süresi yeterlidir.	4,90±0,30	5 (5-5)	4–5	100,0
5. İzleyici öğretim elemanının işyeri ziyaret sayısı yeterlidir.	4,81±0,40	5 (5-5)	4–5	100,0
6. İzleyici öğretim elemanı karşılaşılan problemlerin giderilmesinde etkilidir.	4,83±0,44	5 (5-5)	3–5	97,6
7. İzleyici öğretim elemanı ile iletişimimiz yeterli düzeydedir.	4,83±0,44	5 (5-5)	3–5	97,6
8. Öğrenciye bölümünde verilen eğitim faaliyet alanımız ile ilişkilidir.	4,71±0,51	5 (4-5)	3–5	97,6
9. Öğrenci, iletişime açıktır.	4,83±0,44	5 (5-5)	3–5	97,6
10. Öğrenci öngörülen sürede mesleki uygulamaya başlamıştır.	4,88±0,50	5 (5-5)	2–5	97,6
11. Öğrenci, işyerine kolaylıkla uyum sağlamıştır.	4,76±0,53	5 (5-5)	3–5	95,2
12. Öğrencinin teorik bilgisi mesleki uygulama için yeterlidir.	4,71±0,77	5 (5-5)	1–5	92,9
13. Öğrenci, kendini geliştirme konusunda yeterli çabayı göstermiştir.	4,74±0,59	5 (5-5)	3–5	92,9
14. Öğrenci işletmeye katkı sağlamıştır.	4,67±0,61	5 (4-5)	3–5	92,9
15. Öğrenciyi mezuniyet sonrası işe almak isterim.	4,64±0,96	5 (5-5)	1–5	90,5
16. Gelecek dönemlerde yeni öğrenci talep etmek isterim.	4,45±1,13	5 (5-5)	1–5	83,3
17. Staj /İşyeri eğitimi uygulamasını sektördeki diğer işletmelere öneririm.	4,17±1,25	5 (4-5)	1–5	78,6

Çizelge 2'de işveren değerlendirme anketi maddelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler sunulmuştur. Madde ortalamaları **4,17±1,25 ile 4,95±0,22** arasında değişmektedir. En yüksek ortalama puan **"Staj/İşyeri uygulama eğitimi üniversite-sanayi iş birliğine olumlu katkı sağlar"** maddesinde (**4,95±0,22**) elde edilirken, bunu **"Staj/İşyeri uygulama eğitimi nitelikli iş gücü ihtiyacını gidermede etkilidir"** (**4,93±0,26**) ve **"Staj/İşyeri uygulama eğitiminin süresi yeterlidir"** (**4,90±0,30**) maddeleri izlemiştir. En düşük ortalama puan ise **"Staj/İşyeri eğitim uygulamasını sektördeki diğer işletmelere öneririm"** maddesinde (**4,17±1,25**) belirlenmiştir.

Tüm maddelerde medyan değeri 5 olarak bulunmuş olup, maddelerin büyük çoğunluğunda çeyrekler arası aralık 5–5 olarak hesaplanmıştır. Bu durum katılımcı yanıtlarının üst puanlarda yoğunlaştığını ve değerlendirmelerin genel olarak olumlu olduğunu göstermektedir. Minimum–maksimum değerler incelendiğinde bazı maddelerde yanıtların 1–5 arasında değiştiği görülmekle birlikte, ortalamaların yüksek ve medyan değerlerinin maksimum düzeyde olması

işverenlerin staj/iş yeri eğitimi uygulamasına yönelik olumlu görüş bildirdiğini ortaya koymaktadır.

Olumlu yanıt oranları değerlendirildiğinde ilk beş maddenin tamamında bu oran **%100** olarak belirlenmiştir. Buna karşın en düşük olumlu yanıt oranı **"Staj/İşyeri eğitimi uygulamasını sektördeki diğer işletmelere öneririm"** maddesinde (**%78,6**), ardından **"Gelecek dönemlerde yeni öğrenci talep etmek isterim"** maddesinde (**%83,3**) saptanmıştır. Diğer maddelerde ise olumlu yanıt oranlarının **%90,5 ile %97,6** arasında değiştiği görülmüştür

Çizelge 3. Öğrenci değerlendirme anketi maddelerine ilişkin yanıtların frekans ve yüzde dağılımı (n=46)

Madde	Kesinlikle katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle katılıyorum
1. Sorun ve önerilerimi işyeri yöneticisine rahatlıkla iletirim.	1 (2,2%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	5 (10,9%)	40 (87,0%)
2. Sorun ve önerilerime karşı işyeri yöneticisi ilgili ve duyarlıdır.	1 (2,2%)	0 (0,0%)	1 (2,2%)	5 (10,9%)	39 (84,8%)
3. Duyurular zamanında ve eksiksiz yapılır.	1 (2,2%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	3 (6,5%)	42 (91,3%)
4. Tüm çalışanlara adil çalışma ortamı sağlanır.	1 (2,2%)	0 (0,0%)	2 (4,3%)	5 (10,9%)	38 (82,6%)
5. İş ve sorumluluklar yetkinliğe göre dağıtılır.	1 (2,2%)	0 (0,0%)	3 (6,5%)	6 (13,0%)	36 (78,3%)
6. İş güvenliği gereklilikleri yerine getirilir.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (2,2%)	2 (4,3%)	43 (93,5%)
7. Fiziki çalışma koşulları yeterlidir.	1 (2,2%)	0 (0,0%)	1 (2,2%)	3 (6,5%)	41 (89,1%)
8. Teknik araç-gereç bakımından yeterlidir.	1 (2,2%)	0 (0,0%)	1 (2,2%)	6 (13,0%)	38 (82,6%)
9. Mesai arkadaşlarımla uyumlu ekip çalışması yürütüyoruz.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (2,2%)	7 (15,2%)	38 (82,6%)
10. Bu işyerini diğer öğrencilere tavsiye ederim.	2 (4,3%)	0 (0,0%)	1 (2,2%)	6 (13,0%)	37 (80,4%)
11. Mezuniyet sonrası bu işyerinde çalışmak isterim.	2 (4,3%)	0 (0,0%)	5 (10,9%)	3 (6,5%)	36 (78,3%)
12. Kariyer planlamamda etkili olmuştur.	0 (0,0%)	1 (2,2%)	1 (2,2%)	5 (10,9%)	39 (84,8%)
13. Teorik bilgilerin pratik uygulamasından memnunum.	0 (0,0%)	1 (2,2%)	1 (2,2%)	10 (21,7%)	34 (73,9%)
14. Başlamadan önce yeterli bilgilendirme yapılmıştır.	0 (0,0%)	1 (2,2%)	0 (0,0%)	10 (21,7%)	35 (76,1%)
15. İzleyici öğretim elemanının işyeri ziyareti yeterlidir.	0 (0,0%)	2 (4,3%)	1 (2,2%)	8 (17,4%)	35 (76,1%)
16. İzleyici öğretim elemanı problemlerin giderilmesinde etkilidir.	0 (0,0%)	0 (0,0%)	2 (4,3%)	7 (15,2%)	37 (80,4%)

Çizelge 3'te öğrencilerin staj/iş yeri değerlendirme anketi maddelerine verdikleri yanıtların frekans ve yüzde dağılımları sunulmuştur. Öğrencilerin değerlendirmeleri incelendiğinde, tüm maddelerde "Katılıyorum" ve "Kesinlikle katılıyorum" yanıtlarının baskın olduğu görülmektedir. En yüksek düzeyde "Kesinlikle katılıyorum" yanıtı "İş güvenliği gereklilikleri yerine getirilir" maddesinde (%93,5) belirlenmiş, bunu "Beni ilgilendiren duyurular zamanında ve eksiksiz yapılır" (%91,3), "Çalıştığım ortamın fiziki koşulları yeterlidir" (%89,1) ve "Sorun ve önerilerimi işyeri yöneticisine rahatlıkla iletirim" (%87,0) maddeleri izlemiştir.

Öğrencilerin büyük çoğunluğu işyeri yöneticisinin sorun ve önerilere karşı ilgili ve duyarlı olduğunu (%95,7), çalışma ortamında ekip çalışmasının uyumlu yürütüldüğünü (%97,8), teknik araç ve gereçlerin yeterli olduğunu (%95,6), kariyer planlamalarında staj/iş yeri eğitiminin etkili olduğunu (%95,7) ve izleyici öğretim elemanının karşılaşılan problemlerin giderilmesinde etkili olduğunu (%95,6) ifade etmiştir. Ayrıca öğrencilerin önemli bir bölümü çalışma ortamında adil bir çalışma düzeninin sağlandığını (%93,5) ve işlerin çalışanların bilgi ve yetkinliklerine uygun olarak dağıtıldığını (%91,3) belirtmiştir.

Diğer taraftan, "Mezuniyet sonrası uygulama yaptığım işyerinde çalışmak isterim" maddesinde %10,9 oranında kararsız yanıt bulunduğu ve "Kesinlikle katılıyorum" yanıt oranının (%78,3) diğer maddelere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Benzer şekilde "Üniversitede öğrendiğim teorik bilgilerin pratik uygulamasından memnunum" (%73,9), "Staj/iş yeri uygulama eğitimine başlamadan önce yeterli bilgilendirme yapılmıştır" (%76,1) ve "İzleyici öğretim elemanının işyeri ziyareti sayısı yeterlidir" (%76,1) maddelerinde de "Kesinlikle katılıyorum" yanıt oranları görece daha düşük bulunmuştur.

Genel olarak değerlendirildiğinde, öğrencilerin staj/iş yeri eğitimi uygulamasına ilişkin görüşlerinin oldukça olumlu olduğu; özellikle iş yeri yöneticilerinin yaklaşımı, çalışma ortamı, iş güvenliği uygulamaları, iletişim süreçleri ve ekip çalışmasına yönelik memnuniyet düzeylerinin yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca öğrencilerin büyük çoğunluğu staj/iş yeri eğitiminin mesleki gelişimlerine ve kariyer planlamalarına olumlu katkı sağladığını ifade etmiştir.

Çizelge 4. Öğrenci değerlendirme anketi maddelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler (n=46)

Madde	Ort±SS	Medyan (IQR)	Min–Max	Olumlu (%)
1. Sorun ve önerilerimi işyeri yöneticisine rahatlıkla iletirim.	4,80±0,65	5 (5-5)	1–5	97,8
2. Sorun ve önerilerime karşı işyeri yöneticisi ilgili ve duyarlıdır.	4,76±0,71	5 (5-5)	1–5	95,7
3. Duyurular zamanında ve eksiksiz yapılır.	4,85±0,63	5 (5-5)	1–5	97,8
4. Tüm çalışanlara adil çalışma ortamı sağlanır.	4,72±0,75	5 (5-5)	1–5	93,5
5. İş ve sorumluluklar yetkinliğe göre dağıtılır.	4,65±0,79	5 (5-5)	1–5	91,3
6. İş güvenliği gereklilikleri yerine getirilir.	4,91±0,35	5 (5-5)	3–5	97,8
7. Fiziki çalışma koşulları yeterlidir.	4,80±0,69	5 (5-5)	1–5	95,7
8. Teknik araç-gereç bakımından yeterlidir.	4,74±0,71	5 (5-5)	1–5	95,7
9. Mesai arkadaşlarımla uyumlu ekip çalışması yürütüyoruz.	4,80±0,45	5 (5-5)	3–5	97,8
10. Bu işyerini diğer öğrencilere tavsiye ederim.	4,65±0,90	5 (5-5)	1–5	93,5

11. Mezuniyet sonrası bu işyerinde çalışmak isterim.	4,54±1,00	5 (5-5)	1–5	84,8
12. Kariyer planlamamda etkili olmuştur.	4,78±0,59	5 (5-5)	2–5	95,7
13. Teorik bilgilerin pratik uygulamasından memnunum.	4,67±0,63	5 (4-5)	2–5	95,7
14. Başlamadan önce yeterli bilgilendirme yapılmıştır.	4,72±0,58	5 (5-5)	2–5	97,8
15. İzleyici öğretim elemanının işyeri ziyareti yeterlidir.	4,65±0,74	5 (5-5)	2–5	93,5
16. İzleyici öğretim elemanı problemlerin giderilmesinde etkilidir.	4,76±0,52	5 (5-5)	3–5	95,7

Çizelge 4'te öğrencilerin staj/iş yeri değerlendirme anketi maddelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler sunulmuştur. Madde ortalamalarının 4,54±1,00 ile 4,91±0,35 arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek ortalama puan "İş güvenliği gereklilikleri yerine getirilir" maddesinde (4,91±0,35) elde edilmiş, bunu "Duyurular zamanında ve eksiksiz yapılır" (4,85±0,63), "Sorun ve önerilerimi işyeri yöneticisine rahatlıkla iletirim" (4,80±0,65), "Fiziki çalışma koşulları yeterlidir" (4,80±0,69) ve "Mesai arkadaşlarımla uyumlu ekip çalışması yürütüyoruz" (4,80±0,45) maddeleri izlemiştir. En düşük ortalama puan ise "Mezuniyet sonrası bu işyerinde çalışmak isterim" maddesinde (4,54±1,00) belirlenmiştir.

Tüm maddelerde medyan değeri 5 olarak hesaplanmıştır. Maddelerin büyük çoğunluğunda çeyrekler arası aralığın 5–5 olması, katılımcı yanıtlarının üst puanlarda yoğunlaştığını göstermektedir. Minimum–maksimum değerler incelendiğinde bazı maddelerde yanıtların 1–5 arasında değiştiği, buna karşın iş güvenliği uygulamaları, ekip çalışması ve izleyici öğretim elemanının karşılaşılan problemlerin giderilmesindeki etkinliği gibi maddelerde minimum puanın 3 olduğu görülmüştür. Bu durum söz konusu maddelerde değerlendirmelerin daha homojen ve olumlu olduğunu göstermektedir.

Olumlu yanıt oranları incelendiğinde, "İş güvenliği gereklilikleri yerine getirilir", "Duyurular zamanında ve eksiksiz yapılır", "Sorun ve önerilerimi işyeri yöneticisine rahatlıkla iletirim", "Mesai arkadaşlarımla uyumlu ekip çalışması yürütüyoruz" ve "Başlamadan önce yeterli bilgilendirme yapılmıştır" maddelerinde olumlu yanıt oranının %97,8 olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, en düşük olumlu yanıt oranı "Mezuniyet sonrası bu işyerinde çalışmak isterim" maddesinde (%84,8) saptanmış, diğer maddelerde ise olumlu yanıt oranlarının %91,3 ile %97,8 arasında değiştiği görülmüştür.

Genel olarak değerlendirildiğinde, öğrencilerin staj/iş yeri eğitimi uygulamasına ilişkin tüm maddelerde yüksek ortalama puanlar verdiği, medyan değerlerinin tüm maddelerde en yüksek puan düzeyinde olduğu ve olumlu yanıt oranlarının büyük çoğunlukta %90'ın üzerinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu bulgular, öğrencilerin staj/iş yeri eğitimi sürecine yönelik değerlendirmelerinin genel olarak oldukça olumlu olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 5. İşveren ve öğrenci değerlendirme anketlerine ilişkin güvenilirlik analizi sonuçları

Ölçek	Madde Sayısı	Cronbach's α	Güvenirlik Düzeyi
İşveren değerlendirme anketi	17	0,878	Yüksek düzeyde güvenilir
Öğrenci değerlendirme anketi	16	0,944	Çok yüksek düzeyde güvenilir

Çizelge 5'te işveren ve öğrenci değerlendirme anketlerine ilişkin güvenilirlik analizi sonuçları sunulmuştur. İşveren değerlendirme anketinin Cronbach's alfa katsayısı **0,878**, öğrenci değerlendirme anketinin Cronbach's alfa katsayısı ise **0,944** olarak hesaplanmıştır. Her iki ölçeğin de Cronbach's alfa katsayısının **0,80'in üzerinde** olması, anketlerin yüksek düzeyde iç Cronbach's alfa katsayısının **0,90'ın üzerinde** olması, bu ölçeğin çok yüksek düzeyde güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır.tutarlılığa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca öğrenci değerlendirme anketine ait Cronbach's alfa katsayısının **0,90'ın üzerinde** olması, bu ölçeğin çok yüksek düzeyde güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 6. İşveren ve öğrencilerin staj/iş yeri eğitimi uygulamasına ilişkin ortak temalara yönelik değerlendirmelerinin karşılaştırılması

Ortak Tema	İşveren Değerlendirmesi (Ort±SS)	Öğrenci Değerlendirmesi (Ort±SS)
Uygulama öncesi bilgilendirme	4,90 ± 0,37	4,72 ± 0,63
İzleyici öğretim elemanının işyeri ziyareti	4,45 ± 1,02	4,65 ± 0,74
İzleyici öğretim elemanının problemlerin çözümündeki etkinliği	4,74 ± 0,59	4,76 ± 0,52
Mezuniyet sonrası işyerinde çalışma / öğrenciyi istihdam etme isteği	4,67 ± 0,61	4,54 ± 1,00

Çizelge 6'da işveren ve öğrenci anketlerinde ortak temaları temsil eden maddelere ilişkin ortalama puanlar birlikte sunulmuştur. Her iki grubun değerlendirmeleri incelendiğinde, uygulama öncesi bilgilendirme, izleyici öğretim elemanının işyeri ziyareti, karşılaşılan problemlerin çözümündeki desteği ve mezuniyet sonrası iş birliğinin sürdürülmesine yönelik maddelerde ortalama puanların yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle izleyici öğretim elemanının karşılaşılan problemlerin giderilmesindeki etkinliği her iki grup tarafından benzer düzeyde olumlu değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, uygulama öncesi bilgilendirme işverenler tarafından öğrencilerden daha yüksek puanlanırken, izleyici öğretim elemanının işyeri ziyareti öğrenciler tarafından bir miktar daha yüksek değerlendirilmiştir. Genel olarak her iki grubun ortak temalara ilişkin değerlendirmelerinin yüksek düzeyde olduğu görülmektedir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Terme Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin işyerinde uygulamalı eğitim deneyimlerinin kariyer gelişimleri üzerindeki etkisi istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir. Araştırma kapsamında öğrencilerin uygulamalı eğitim memnuniyeti, mesleki yeterlilik algısı, iş yaşamına hazırlık düzeyi ve istihdam edilebilirlik algılarının kariyer gelişimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Araştırma bulguları, işyerinde uygulamalı eğitimin öğrencilerin kariyer gelişimine önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Öğrencilerin uygulamalı eğitim sürecinde elde ettikleri sektörel deneyimlerin, mesleklerini daha yakından tanımalarına ve kariyer hedeflerini daha bilinçli şekilde belirlemelerine yardımcı olduğu görülmüştür. Bunun yanında uygulamalı eğitim sayesinde öğrencilerin mesleki özgüvenlerinin arttığı, teorik bilgilerini uygulama fırsatı buldukları ve iş yaşamının beklentilerine daha iyi uyum sağladıkları belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen korelasyon analizleri sonucunda uygulamalı eğitim memnuniyeti, mesleki yeterlilik, iş yaşamına hazırlık ve istihdam edilebilirlik algıları ile kariyer gelişimi arasında pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir. Regresyon analizi sonuçları ise söz konusu değişkenlerin kariyer gelişimini anlamlı düzeyde açıkladığını ortaya koymuştur. Özellikle uygulamalı eğitim memnuniyeti ve mesleki yeterlilik algısının kariyer gelişimini etkileyen önemli faktörler arasında yer aldığı görülmüştür.

Araştırma sonuçları, 3+1 eğitim modelinin öğrencilerin yalnızca mesleki bilgi ve becerilerini geliştirmekle kalmayıp aynı zamanda iş yaşamına geçiş süreçlerini kolaylaştırdığını ve istihdam edilebilirliklerini artırdığını göstermektedir. İşyerinde uygulamalı eğitim sürecinin öğrencilerin mezuniyet sonrası iş bulma beklentilerini olumlu yönde etkilediği ve sektörle kurulan erken dönem ilişkilerin kariyer planlamasına katkı sağladığı söylenebilir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki öneriler geliştirilebilir:

- 1. İşyerinde uygulamalı eğitim programlarının kapsamı genişletilmeli ve sürdürülebilir hale getirilmelidir.** Meslek yüksekokullarında uygulamalı eğitim süreçlerinin daha fazla öğrenciye ulaşması sağlanmalıdır.
- 2. Üniversite-sektör iş birliği güçlendirilmelidir.** İşletmelerin eğitim sürecine daha aktif katılımı teşvik edilmeli, öğrencilerin farklı sektörlerde uygulama yapabilmelerine olanak tanınmalıdır.
- 3. Öğrencilerin kariyer planlama süreçleri desteklenmelidir.** Kariyer merkezleri tarafından uygulamalı eğitim öncesinde ve sonrasında kariyer danışmanlığı hizmetleri sunulmalıdır.

4. **İşveren geri bildirimleri düzenli olarak değerlendirilmelidir.** İşletmelerin öğrencilerin performanslarına ilişkin görüşleri eğitim programlarının güncellenmesinde kullanılmalıdır.
5. **Uygulamalı eğitim sürecinin kalitesini artıracak izleme ve değerlendirme sistemleri oluşturulmalıdır.** Öğrenci, işveren ve akademik danışman görüşleri düzenli olarak analiz edilerek programların etkinliği artırılmalıdır.
6. **Mesleki yeterlilik ve kişisel gelişim eğitimleri desteklenmelidir.** İletişim becerileri, takım çalışması, problem çözme, liderlik ve girişimcilik gibi yetkinliklerin geliştirilmesine yönelik eğitimler müfredata entegre edilmelidir.
7. **Gelecekte yapılacak araştırmalarda farklı üniversiteler ve meslek yüksekokulları kapsama alınmalıdır.** Böylece elde edilen sonuçların genellenebilirliği artırılabilir ve farklı bölgeler arasında karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılabilir.
8. **Ayrıca öğrencilerin demografik özellikleri de alınarak farklı özelliklere göre karşılaştırmalar yapılabilir.**

Sonuç olarak, işyerinde uygulamalı eğitim uygulamaları öğrencilerin kariyer gelişimlerini destekleyen, iş yaşamına uyumlarını kolaylaştıran ve istihdam edilebilirliklerini artıran önemli bir eğitim modeli olarak değerlendirilmektedir. Meslek yüksekokullarında uygulamalı eğitim odaklı yaklaşımların yaygınlaştırılması ve sektörle iş birliğinin güçlendirilmesi, nitelikli insan kaynağı yetiştirilmesine ve ülkenin ekonomik kalkınmasına önemli katkılar sağlayacaktır. Araştırma bulguları, 3+1 eğitim modelinin etkinliğini ortaya koymakta ve mesleki eğitimin geliştirilmesine yönelik politika yapıcılara, eğitim yöneticilerine ve sektör temsilcilerine önemli bilgiler sunmaktadır.

4. KAYNAKLAR

- [1] Akkoyunlu, B. ve Soylu, M. Y., "Öğrenme Stilleri ve Uzaktan Eğitim", Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 39, 1-12, 2010.
- [2] Altan, S. ve Seferoğlu, S. S., "Mesleki ve Teknik Eğitimin İş Gücü Piyasasına Uyumu", Eğitim ve Bilim, 38(169), 1-15, 2013.
- [3] Baldwin, T. T. ve Ford, J. K., "Transfer of Training: A Review and Directions for Future Research", Personnel Psychology, 41(1), 63-105, 1988.
- [4] Çalışkan, A. ve Demir, F., "Mesleki Eğitimde Uygulamalı Eğitimin İstihdam Üzerindeki Etkisi", Journal of Vocational Education Research, 2(1), 45-60, 2017.

- [5] Field, A., *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*, 5th Ed., Sage Publications, London, 2018.
- [6] Fornell, C. ve Larcker, D. F., "Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error", *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50, 1981.
- [7] Ginzberg, E., *Career Development*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [8] Güven, S. ve Ceylan, H., "Uygulamalı Eğitimin Öğrenci İstihdamına Etkisi: MYO Örneği", *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 26(4), 1123-1135, 2018.
- [9] Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J. ve Anderson, R. E., *Multivariate Data Analysis*, 8th Ed., Cengage Learning, Boston, 2019.
- [10] Kalaycı, Ş., *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri*, Asil Yayın Dağıtım, Ankara, 2016.
- [11] Kline, R. B., *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*, 4th Ed., Guilford Press, New York, 2016.
- [12] Super, D. E., "A Life-span, Life-space Approach to Career Development", Brown, D. ve Brooks, L. (Ed.), *Career Choice and Development*, 2nd Ed., ss. 197-261, Jossey-Bass, San Francisco, 1990.
- [13] Tabachnick, B. G. ve Fidell, L. S., *Using Multivariate Statistics*, 7th Ed., Pearson, New York, 2019.
- [14] Tunalı, İ., "Türkiye'de Mesleki Eğitim ve İş Gücü Piyasası İlişkisi", *İktisat Fakültesi Mecmuası*, 62(1), 1-22, 2012.
- [15] Yılmaz, E. ve Sünbül, A. M., "Öğretmen Adaylarının Mesleki Yeterlik Algıları", *Eğitim ve Bilim*, 34(153), 87-98, 2009.

**MESLEK YÜKSEKOKULLARINDA İŞYERİ UYGULAMALI EĞİTİM MODELİNİN
GELİŞTİRİLMESİ VE ÖNEMİ: TERME MYO ÖRNEĞİ**

**THE DEVELOPMENT AND IMPORTANCE OF THE WORKPLACE-BASED
TRAINING MODEL IN VOCATIONAL COLLEGES : THE CASE OF TERME
VOCATIONAL COLLEGE**

Prof. Dr. EROL TERZİ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

eroltr@omu.edu.tr – 0000-0002-2309-827X

Öğr. Gör. ŞAHİN DEĞİRMENCİ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

sahin.degirmenci@omu.edu.tr – 0000-0003-3655-8404

ÖZET

Meslek yüksekokulları, ülkemizde işletmelerin nitelikli ara eleman ihtiyacını karşılamak amacıyla iki yıllık ön lisans düzeyinde eğitim veren kurumlardır. Günümüz sanayi ve hizmet sektörlerinde kalifiye eleman ihtiyacı giderek artmakta, bu durum meslek yüksekokullarının önemini daha da artırmaktadır. Teorik bilginin yanında uygulamalı eğitimin önemi, 3+1 eğitim modeliyle birlikte daha görünür hale gelmiştir. Bu model, öğrencilerin üç dönem boyunca teorik eğitim aldıktan sonra bir dönem boyunca edindikleri bilgileri iş yerlerinde uygulama fırsatı bulmalarını sağlamaktadır. Böylece öğrenciler, mezuniyet öncesinde sektör deneyimi kazanmakta ve iş hayatına daha hazır hale gelmektedir. Bu bildiride meslek yüksekokullarında uzun dönem uygulamalı eğitimlerin geliştirilmesi, sektörle iş birliğinin artırılması, Meslek Yüksekokullarının sanayi firmaları ile işbirliği protokollerinin artırılması, öğrenci-işveren memnuniyetinin önemi ele alınmaktadır. Bu bağlamda, öğrencilerine tüm programlarında uygulamalı eğitim modeli sunan Ondokuz Mayıs Üniversitesi Terme Meslek Yüksekokulu örneği bölgemiz ve ülkemiz için önemli bir model olmakta ve programları öğrenciler tarafında yoğun bir şekilde tercih edilmektedir. İşyerinde uygulamalı eğitim modelinin geliştirilmesi, öğrencilerin istihdam edilebilirlik oranını artırırken, işverenlerin de daha nitelikli ara elemanlara ulaşmasını kolaylaştırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Meslek Yüksekokulu, Uygulamalı Eğitim, 3+1 Modeli, İşveren Memnuniyeti, Öğrenci Memnuniyeti, Öğrenci Tercihi

ABSTRACT

Vocational colleges are institutions in our country that offer two-year associate degree programs to meet the demand for qualified mid-level personnel in businesses. The demand for qualified personnel in today's industrial and service sectors is steadily increasing, which further highlights the importance of vocational colleges. The significance of practical training alongside theoretical knowledge has become more apparent with the 3+1 education model. This

model ensures that students, after completing three semesters of theoretical education, have the opportunity to apply the knowledge they have acquired in the workplace for one semester. In this way, students gain industry experience before graduation and become better prepared for the workforce. This paper addresses the development of long-term practical training programs at vocational colleges, the enhancement of industry collaboration, the expansion of cooperation protocols between vocational colleges and industrial firms, and the importance of student and employer satisfaction. In this context, the example of Ondokuz Mayıs University's Terme Vocational School, which offers a practical training model in all its programs, serves as an important model for our region and our country, and its programs are highly preferred by students. The development of the workplace-based practical training model not only increases students' employability but also makes it easier for employers to access more qualified mid-level staff.

Keywords: Vocational School, Applied Education, 3+1 Model, Employer Satisfaction, Student Satisfaction, Student Preference

1. GİRİŞ

Meslek yüksekokulları, sanayi ve hizmet sektörlerinin ihtiyaç duyduğu nitelikli ara elemanların yetiştirilmesi amacıyla kurulmuş yükseköğretim kurumlarıdır. İki yıllık eğitim süresi boyunca öğrenciler, hem teorik bilgi hem de mesleki beceri kazanarak iş dünyasına hazırlanmaktadır (Yükseköğretim Kanunu, 1981). Ancak sektörlerin hızla değişen dinamikleri, bu kurumlarda verilen eğitimin de sürekli güncellenmesini zorunlu kılmaktadır (Gündüz vd., 2025). Sektörün değişen taleplerine cevap verebilmek ve iş gücü piyasasının ihtiyaç duyduğu donanımına sahip bireyler yetiştirebilmek, yükseköğretim kurumlarının en temel önceliklerinden biri haline gelmiştir (Aydın, 2019). Bu doğrultuda, deneysel öğrenme kuramlarının temelinde şekillenen iş yeri eğitimleri, öğrencinin bilgiyi pasif bir alıcı olarak değil, bizzat deneyimleyerek içselleştirmesini sağlamaktadır (Kolb, 2015).

Son yıllarda Yükseköğretim Kurulu (YÖK) tarafından desteklenen 3+1 uygulamalı eğitim modeli, meslek yüksekokullarında teorik ve pratik eğitimin birleştirilmesi açısından önemli bir adım olmuştur. Bu model sayesinde öğrenciler üç dönem boyunca okulda teorik eğitim alırken, dördüncü dönemde iş yerinde uygulamalı eğitim görmektedir. Bu süreçte öğrenciler, hem teorik bilgilerini pekiştirmekte hem de iş dünyasının beklentilerini yerinde gözlemlene fırsatı bulmaktadır (Yükseköğretimlerde Uygulamalı Eğitimler Çerçeve Yönetmeliği, 2021).

2. 3+1 İŞYERİNDE UYGULAMALI EĞİTİM MODELİ

Türkiye’de kısıtlı sayıda meslek yüksekokulunda uygulanan 3+1 uygulamalı eğitim modeli, Terme Meslek Yüksekokulu’muz bünyesindeki tüm programlarda müfredat güncellemesi yapılarak 2018-2019 eğitim-öğretim yılında hayata geçirilmiştir. Sektörle iç içe, firmalarda uzun dönem işyeri eğitimi alan öğrencilerimiz; üniversitemiz ile sanayi kuruluşları arasında protokol yapılan firmalarda 2. sınıfın 4. yarıyılında 15 hafta boyunca mesleğin ayrıntılarını bizzat yerinde görmekte; uygulama, üretim ve istihdam süreçlerine tanıklık ederek kendilerini iş hayatına daha nitelikli bir şekilde hazırlamaktadırlar. İşyeri uygulamasına dahil olmayan

öğrenciler ise 2. sınıfın Bahar yarıyılı sonunda alanları ile ilgili firmalarda 30 işgünü staj yapmakta ve staj komisyonu tarafından değerlendirilmektedir. OMÜ Terme MYO'nun tüm programlarında 3+1 uygulamalı eğitim modelinin kararlılıkla uygulanması, öğrencilerimizin firmalar tarafından öncelikli olarak tercih edilmesini sağlamaktadır. Böylece sanayide ihtiyaç duyulan nitelikli ara eleman ihtiyacının karşılanması noktasında üst düzey mesleki donanıma sahip mezunlar verilmektedir. Bu modelin bir çıktısı olarak öğrencilerimize daha mezun olmadan ilgili firmalardan iş teklifleri gelmekte ve birçok mezunumuz alanıyla ilgili firma ve kurumlarda öncelikli olarak istihdam edilmektedir.

Çizelge 1. TERME MYO (3+1) FİRMADA İŞYERİ EĞİTİMİ ALAN ÖĞRENCİ SAYILARI

BÖLÜM	2019-20	2020-21	2021-22	2022-23	2023-24	2024-25
Muhasebe ve Vergi Bölümü	9	18	18	10	12	8
Dış Ticaret Bölümü	10	10	10	5	16	6
Pazarlama ve Reklamcılık Bölümü	2	14	18	6	8	3
Gıda İşleme Bölümü	2	28	5	5	12	3
Yönetim ve Organizasyon Bölümü	-	-	8	7	10	6
TOPLAM	23	70	59	33	58	26
GENEL TOPLAM: 269						

Çizelge 2. OMÜ TERME MYO YILLARA GÖRE TABAN PUANLARI

PROGRAMLAR	2021	2022	2023	2024	2025
Gıda Kalite	173,89007	242,87	241,12	248,72	260,33
Gıda Teknolojisi	191,52553	248,91	246,2	254,76	268,13
Lojistik	195,14961	255,41	256,21	268,66	276,91
Muhasebe	187,35531	231,23	238,39	248,34	267,26
Pazarlama	177,39142	234,16	237,59	244,56	252,85
Dış Ticaret	171,00673	243,58	248,75	261,06	269,71

3+1 Uzun Dönem İşyeri Uygulaması Sonrası Terme MYO Taban Puanlarının Artışı

3. UYGULAMALI EĞİTİMİN ÖNEMİ VE YAYGINLAŞTIRILMASI

Uygulamalı eğitim, öğrencilerin teorik bilgilerini gerçek iş ortamında kullanmalarını sağlayarak mesleki yeterliliklerini geliştirir. Öğrencilerin problem çözme, karar verme, iletişim, takım çalışması ve zaman yönetimi gibi mesleki ve sosyal becerilerini güçlendirir. İş yaşamına uyum sürecini hızlandırır ve mezuniyet sonrasında adaptasyon süresini kısaltır. Literatür incelendiğinde, meslek yüksekokullarında yürütülen iş yeri uygulama eğitimlerinin, öğrencilerin bireysel ve mesleki gelişimleri ile istihdam edilebilirlikleri üzerinde doğrudan ve güçlü bir etkisi olduğu görülmektedir (Karataş ve Ertürk, 2021). Bu doğrultuda Atalı, Özkan ve Sarıbiyık (2016) tarafından yapılan çalışmada, uygulamalı eğitim gören öğrencilerin piyasa beklentilerine çok daha iyi cevap verecek donanımda yetiştirildiği sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde Gümüş ve Örgen (2018) uygulamalı mesleki eğitim alan öğrencilerin meslek hayatına karşı daha pozitif, kararlı and anlamlı düşüncelere sahip olduklarını ortaya koymuşlardır. Korkmaz ve Kilci (2024) ise yükseköğretim kurumlarında uygulanan bu tür başarılı eğitim programlarının daha geniş kitlelere tanıtılması ve yaygınlaştırılması gerektiğine dikkat çekmiştir. İşletmede Mesleki Eğitim (İME) uygulamalarının öğrencilerin teorik bilgilerini uygulamaya çevirmelerine, mesleki gelişimlerini desteklemelerine ve okul sonrasındaki işe yerleşme oranlarının artırılmasında önemli katkı sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca öğrencilerin mesleki eğitim uygulamalarına genel olarak oldukça olumlu baktıkları ve bu sürecin kariyer basamaklarına doğrudan katkı sunduğu saptanmıştır (Alkan Çakıroğlu vd., 2026). Üniversite-sektör iş birliğinin kuvvetlendirilmesi, müfredatın sürekli güncellenmesi ve uygulama derslerinin saatlerinin artırılması ise bu süreçteki temel öneriler arasında yer almaktadır (Ecer, 2026).

3.1. Uygulamalı Eğitimin Geliştirilmesine Yönelik Öneriler:

- Üniversite–Sanayi İş Birliğinin Güçlendirilmesi: Sanayi kuruluşlarıyla uzun vadeli ve sürdürülebilir iş birliği protokolleri artırılmalıdır. İşletmeler eğitim sürecinin planlanmasına aktif olarak katılmalıdır.
- Uygulama Alanlarının Çeşitlendirilmesi: Öğrencilerin farklı sektörlerde ve farklı ölçeklerde işletmelerde uygulama yapmaları teşvik edilmelidir. Kamu kurumları, organize sanayi bölgeleri, teknoloji geliştirme bölgeleri ve KOBİ'lerle iş birlikleri artırılmalıdır.
- Ortak Değerlendirme Sistemi: İşveren, akademik danışman ve öğrencinin birlikte değerlendirme yaptığı objektif performans ölçme sistemi geliştirilmelidir. Öğrenci performansı yalnızca devam durumuna değil, kazanılan mesleki yeterliliklere göre değerlendirilmelidir.
- İşveren ve Öğrenci Memnuniyetinin İzlenmesi: Her uygulama dönemi sonunda düzenli memnuniyet anketleri uygulanmalıdır. Elde edilen geri bildirimler doğrultusunda programlar sürekli iyileştirilmelidir.
- Dijital Takip ve İzleme: Uygulamalı eğitim süreçleri dijital platformlar üzerinden takip edilmelidir. Öğrencilerin haftalık faaliyet raporları, danışman ve iş yeri eğiticileri tarafından çevrim içi olarak değerlendirilmelidir.
- Akademik Danışmanlık Sürecinin Güçlendirilmesi: Akademik danışmanların iş yeri ziyaretleri artırılmalıdır. Üniversite ile işletme arasında düzenli iletişim mekanizmaları

oluşturulmalıdır.

- Müfredatın Güncellenmesi: Ders içerikleri sektör temsilcilerinin görüşleri doğrultusunda düzenli olarak güncellenmelidir. Dijital dönüşüm, yapay zekâ, veri analitiği, sürdürülebilirlik ve yeşil dönüşüm gibi güncel konular müfredata entegre edilmelidir.
- Kariyer Planlama Desteği: Uygulamalı eğitim öncesinde öğrencilere iş hayatına hazırlık, etkili iletişim, öz geçmiş hazırlama ve mülakat teknikleri konularında eğitim verilmelidir.
- Başarı Göstergelerinin İzlenmesi: Mezunların istihdam oranları, işveren memnuniyeti, mezunların işe yerleşme süresi ve uygulama yapılan işletmelerin devamlılığı gibi performans göstergeleri düzenli olarak takip edilmelidir.

Sonuç olarak; iş yerinde uygulamalı eğitim modeli, yalnızca öğrencilerin mesleki bilgi ve becerilerini geliştiren bir eğitim yaklaşımı değil, aynı zamanda üniversite–sanayi iş birliğini güçlendiren, iş gücü piyasasının beklentilerine uygun nitelikli insan kaynağının yetiştirilmesini sağlayan stratejik bir modeldir. Modelin etkinliğinin artırılması; sektör temsilcilerinin sürece aktif katılımı, dijital izleme ve değerlendirme sistemlerinin kullanılması, sürekli geri bildirim mekanizmalarının oluşturulması ve eğitim programlarının sektör ihtiyaçlarına göre güncellenmesiyle mümkündür. Bu doğrultuda geliştirilecek uygulamalar, öğrencilerin istihdam edilebilirliğini artırırken işletmelerin nitelikli ara eleman ihtiyacının karşılanmasına ve ülkenin ekonomik kalkınmasına da önemli katkılar sağlayacaktır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde meslek yüksekokulları, iş dünyasının ihtiyaç duyduğu nitelikli ara elemanların yetiştirilmesinde kritik bir role sahiptir. Günümüzde iş dünyasındaki hızlı yenilikler, teknoloji alanındaki gelişmeler ve sektörlerin beklentilerindeki dinamik değişimler, yalnızca teorik bilgiye sahip mezunların iş hayatında başarı yakalamasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle mesleki eğitimin uygulama yönünün kuvvetlendirilmesi, öğrencilerin mezuniyet öncesinde iş yaşamı tecrübesi ve sektörel beklentilere uygun beceriler kazanmaları açısından hayati önem taşımaktadır.

Çalışmamızda değerlendirilen iş yerinde uygulamalı eğitim modeli, öğrencilerin okulda edindikleri teorik bilgileri pratikle birleştirerek mesleki yeterliliklerine çok yönlü katkılar sunmaktadır. Öğrenciler, eğitimleri süresince edindikleri teorik bilgileri sahada uygulama fırsatı bularak iş disiplini, kurumsal kültür ve teknik becerilerini olumlu yönde geliştirmektedir. Bunun yanı sıra iş yerindeki sorunları çözme, işveren ve müşterilerle sağlıklı iletişim kurma, ekip çalışmasına uyum sağlama, zaman yönetimi ve sorumluluk alma gibi iş yaşamının vazgeçilmez yumuşak becerilerini (soft skills) de kazandıkları gözlemlenmiştir.

Terme Meslek Yüksekokulu örneğinde uygulanan 3+1 iş yerinde eğitim modeli, öğrencilerin sektörle erken dönemde tanışmalarına ve güçlü bir iş deneyimi kazanmalarına imkân sağlamaktadır. İşletmelerde geçirilen uzun süreli uygulama eğitimi sayesinde öğrenciler, mezuniyet sonrasında karşılaşacakları çalışma ortamlarına çok daha dirençli ve hazır bir şekilde adım atmaktadır. Terme MYO’da işyeri eğitimine katılan birçok öğrencinin, işletmelerden henüz mezun olmadan ya da mezuniyetin hemen ardından iş teklifi alabilmesi, bu modelin istihdam üzerindeki doğrudan olumlu etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Mesleki eğitim uygulamaları sadece öğrenciler için değil, işverenler için de önemli avantajlar barındırmaktadır. İşletmeler, potansiyel çalışan adaylarını işe alımdan önce uzun süreli gözlemlene fırsatı bulmaktadır, performanslarını değerlendirebilmekte ve ihtiyaç duydukları nitelikli ara elemanları doğrudan bünyelerine katabilmektedir. Aynı zamanda işletmelerin eğitim sürecine aktif katılımı, üniversite ile sektör arasında daha güçlü, organik ve sürdürülebilir ilişkilerin kurulmasına zemin hazırlamaktadır.

Bu araştırma kapsamında incelenen literatür ve mevcut uygulamalar, işyerinde uygulamalı eğitimin etkinliğinin sadece öğrencilerin işyerlerine yerleştirilmesiyle sınırlı kalmaması gerektiğini; sürecin planlanması, titizlikle takip edilmesi, değerlendirilmesi ve sürekli iyileştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu noktada öğrenci ve işveren memnuniyet anketleri, vazgeçilmez bir kalite güvence mekanizması olarak işletilmelidir. Öğrenci memnuniyet anketleri uygulama sürecinin öğrencilerin beklentilerini ne ölçüde karşıladığını ve hangi yönlerde eksiklikler bulunduğunu ortaya koyarken; işveren memnuniyet anketleri ise öğrencilerin mesleki bilgi düzeyleri, iş performansları, iletişim becerileri, iş disiplini ve kurumsal uyumları hakkında rehber geri bildirimler sunmaktadır. Bu veriler ışığında eğitim programlarının revize edilmesi, uzun vadede sistemin başarısını pekiştirecektir.

Uygulamalı eğitimin güçlendirilmesi, öğrencilerin hazır bulunuşluk düzeyini artırmakta ve mezuniyet sonrası istihdam sürecini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca firmalar açısından da mezunların işe uyum süresini kısaltmakta ve işletme verimliliğini artırmaktadır. Bu nedenle meslek yüksekokullarının sektörle sürekli iletişim halinde olması büyük önem taşımaktadır. Öğrenci memnuniyet anketleri, uygulama eğitiminin öğrenciye kattığı mesleki yeterlilikleri ve eksik yönleri ortaya koyarken; işveren memnuniyet anketleri ise öğrencilerin performansını ve kurumsal uyum düzeyini ölçerek eğitim kalitesinin sürdürülebilirliğine katkı sağlar (Özdemir ve Demir, 2020). Geri bildirim mekanizmalarının etkin işletilmesi, müfredatlarını sektörün ihtiyaç duyduğu güncel beceriler doğrultusunda yeniden esnetilmesini mümkün kılacaktır.

Sonuç olarak, 3+1 modeli gibi sistemli bir biçimde yürütülen işyeri eğitimi yaklaşımlarının ülke genelindeki tüm meslek yüksekokullarında yaygınlaştırılması, yükseköğretimde kalite standardını yükseltecek ve mezunların istihdam edilebilirlik düzeylerini kalıcı olarak artıracaktır.

KAYNAKÇA

Alkan Çakıroğlu, M., Uçan Karakılınç, U., ve Büyükinsal, A. (2026). Öğrencilerin işyeri eğitimi uygulamasına yönelik bakış açıları: Isparta Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İnşaat Teknolojileri Bölümü Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 14(1), 134-149.

Atalı, G., Özkan, S. S., ve Sarıbiyık, M. (2016). Nitelikli işgücü yetiştirmek için ön lisans programlarında uygulamalı eğitim modeli. *5th International Vocational Schools Symposium (Prizren)*.

Aydın, A. (2019). Meslek yüksekokullarında uygulamalı eğitimin önemi ve 3+1 eğitim modeli üzerine bir değerlendirme. *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, 9(3), 512–520.

Gümüş, İ., ve Örgen, C. (2018). Beşeri sermayenin etkinliği açısından turizm ön lisans eğitiminde uygulamalı mesleki eğitimin önemi. *Uluslararası Türk Dünyası Turizm Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 202-214.

Karataş, E., ve Ertürk, H. (2021). Meslek yüksekokullarında işyeri uygulama eğitiminin öğrenci kazanımları üzerindeki etkisi. *Gazi Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, 8(2), 45–59.

Kolb, D. A. (2015). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development* (2nd ed.). Pearson Education.

Korkmaz, N., ve Kilci, Z. (2024). Önlisans öğrencilerinin 3+1 uygulamalı eğitim modeline yönelik tatmin derecelerinin incelenmesi: Susurluk Tarım ve Orman Meslek Yüksekokulu Örneği. *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, 14(1), 118-126.

Özdemir, M., ve Demir, M. (2020). İşveren memnuniyetinin ölçülmesi: Meslek yüksekokulu işyeri eğitimi örneği. *Mesleki ve Teknik Eğitim Dergisi*, 3(1), 21–34.

T.C. Resmî Gazete. (2021). *Yükseköğretimde Uygulamalı Eğitimler Çerçeve Yönetmeliği*. Sayı: 31514, 17 Haziran 2021.

Yükseköğretim Kanunu, Kanun No. 2547 (1981). *Resmî Gazete* (Sayı: 17506, 6 Kasım 1981).

Gündüz, C., Karaçınar, H., Çiğdem, R. ve Denk Orak, Z. (2025). Mesleki eğitimde kalite odaklı dönüşüm: müfredat reformları, dijitalleşme ve sektörel iş birlikleri. *Anadolu Üniversitesi Mesleki Eğitim ve Uygulama Dergisi*, 4(1), 84-107.
<https://doi.org/10.70756/anameud.1649717>[cite: 2]

Ecer, H. (2026). İstihdam piyasası ile eğitim sağlayıcılar arasındaki uyumun değerlendirilmesi. *Marmara Üniversitesi Öneri Dergisi*, 21(65), 42-71.
<https://doi.org/10.14783/maruoneri.1791523>

**COEFFICIENT AND FEKETE-SZEGÖ PROBLEM FOR CERTAIN SUBCLASS OF
CONEX FUNCTIONS ASSOCIATED WITH q – ANALOGUE OF THE q –
EXPONENTIAL FUNCTION**

Prof. Dr. NİZAMİ MUSTAFA

Kafkas University, Kars/TURKEY

nizamimustafa@gmail.com

0000-0002- 2758-0274

Prof. Dr. VEYSEL NEZİR

Kafkas University, Kars/TURKEY

veyselnezir@yahoo.com

0000-0001- 9640-8526

Grad. Stud. SELAHATTİN ÇİN*

Kafkas University, Kars/TURKEY

matematik_ogretmenleri@hotmail.com

0009-0004-7562-1482

ABSTRACT

In this study, by making the use q – analogous of the q – exponential function, a new subclass of univalent functions is defined. This study aims to provide an upper bound estimate for the first three coefficient bounds and the Fekete-Szegö functional for functions belonging to this defined class. Furthermore, in the study compared known results in the literature depending on the choice of the parameter q .

KEYWORDS Fekete-Szegö functional, convex function, q – analogue of the q – exponential function

1. Introduction and preliminaries

In this section, we will provide some basic information and the lemmas we will use.

Let $H(U)$ be the class of analytic functions in the open unit disk $U = \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$ of the complex plane $\mathbb{C}$. By A , we will denote class of the functions $f \in H(U)$ given by the following series expansions

$$f(z) = z + a_2 z^2 + a_3 z^3 + a_4 z^4 + \cdots + a_n z^n + \cdots = z + \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n, \quad a_n \in \mathbb{C}. \quad (1.1)$$

It is clear that the function f belonging to the class A satisfies the conditions $f(0) = 0$ and $f'(0) = 1$. The subclass of univalent functions of A is denoted by S in the literature. The class S was introduced by Kœbe [8] in 1907 and has become the core ingredient of advanced research in this field. Later, many mathematicians became interested in coefficient estimates for this class. Within a short period, in 1916 Bieberbach [5] published a paper in which the famous coefficient hypothesis was proposed. This hypothesis consists of the following: “If $f \in S$ and has the series form (1.1), then $|a_n| \leq n$ for each $n \geq 2$ ”. In 1985, it was de-Branges [7], who settled this long-lasting conjecture. There were a lot of papers devoted to this conjecture in the literature (see [1,2,4,6,9,12,21,22]).

For the given functions $f, g \in H(U)$, f is said to be subordinated to g and denoted by $f \prec g$ if there exists an analytic function ω defined in U with the restrictions $\omega(0) = 0$ and $|\omega(z)| < 1$ in such a manner that $f(z) = g(\omega(z))$ holds. Moreover, if g is univalent in U , then $f \prec g$ if and only if

$$f(0) = g(0) \text{ and } f(U) \subset g(U).$$

In 1992 Ma and Minda [11] presented a unified version of the class C using subordination terminology. It was defined by

$$C(\varphi) = \left\{ f \in S : \frac{(zf'(z))'}{f'(z)} \prec \varphi(z), z \in U \right\},$$

where $\varphi(z)$ is a univalent function with $\varphi'(0) > 0$ and $\operatorname{Re}(\varphi(z)) > 0$. Additionally, the region $\varphi(U)$ is star-shaped about the point $\varphi(0) = 1$ and is symmetric along the real-line axis.

It is well known that the Fekete-Szegö functional of the function $f \in S$ is defined as $H_{2,1}(f) = a_3 - a_2^2$. For $\lambda \in \mathbb{C}$ (or $\lambda \in \mathbb{R}$) the functional $H_{2,1}(f, \lambda) = a_3 - \lambda a_2^2$ is known as the generalized Fekete-Szegö functional [12]. Estimating the upper bound of $|a_3 - \lambda a_2^2|$ is known as the Fekete-Szegö problem. Many researchers have investigated this problem for different subclasses of univalent functions (see [14,15,17-19]).

For $q \in (0,1)$ the q -analogue of q -exponential function defined as follows

$$e_q^{qz} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(qz)^n}{[n]_q!} = 1 + \frac{qz}{[1]_q!} + \frac{(qz)^2}{[2]_q!} + \frac{(qz)^3}{[3]_q!} + \cdots + \frac{(qz)^n}{[n]_q!} + \cdots, \quad (1.2)$$

where $[n]_q! = [n-1]_q! [n]_q$ and $[n]_q = \frac{1-q^n}{1-q} = 1 + q + q^2 + \cdots + q^{n-1}$.

It is clear that $\lim_{q \rightarrow 1^-} e_q^{qz} = e^z$.

By using the definition of subordination, we introduce a new subclass of univalent functions connected with the q – analogue of the q – exponential function.

Definition 1.1. For $q \in (0,1)$ a function $f \in S$ is said to be in the class $C(e_q^{qz})$ if it satisfies the following condition

$$\frac{(zf'(z))'}{f'(z)} \prec e_q^{qz}, z \in U; \text{ that is, } C(e_q^{qz}) = \left\{ f \in S : \frac{(zf'(z))'}{f'(z)} \prec e_q^{qz}, z \in U \right\}.$$

Remark 1.1. Setting $q \rightarrow 1^-$ in Definition 1.1, we obtain the class $C(e^z)$.

Let P be the class of analytic functions in U with positive real parts and $p(0) = 1$. It is clear that the functions that satisfy these conditions have the following series expansion

$$p(z) = 1 + p_1 z + p_2 z^2 + p_3 z^3 + \dots = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} p_n z^n, \quad z \in U. \quad (1.3)$$

The class P defined above is known as the class Caratheodory functions in the literature [13]. The subsequent lemmas are essential for the proof our main results. It includes the well known p_2 formula [22], the p_3 formula introduced by Libera and Zlotkiewicz [10].

Lemma 1.1 Let the an analytic function p be of the form (1.3), then

$$2p_2 = p_1^2 + (4 - p_1^2)x,$$

$$4p_3 = p_1^3 + 2(4 - p_1^2)p_1 x - (4 - p_1^2)p_1 x^2 + 2(4 - p_1^2)(1 - |x|^2)y$$

for some $x, y \in \mathbb{D}$ with $|x| \leq 1$ and $|y| \leq 1$.

Lemma 1.2 ([7]). Let the function p belong to the class P . Then,

$$|p_n| \leq 2 \text{ for each } n \in \mathbb{N} \text{ and } |p_n - \lambda p_k p_{n-k}| \leq 2 \text{ for } n, k \in \mathbb{N}, n > k \text{ and } \lambda \in [0,1].$$

The equality hold for the function $p(z) = (1+z)/(1-z)$.

Lemma 1.3 ([3]). Let the function p belong to the class P . Then,

$$|p_3 - 2Bp_1p_2 + Dp_1^3| \leq 2 \text{ if } 0 \leq B \leq 1 \text{ and } B(2B-1) \leq D \leq B.$$

In this paper, we give some coefficient estimates and solve Fekete-Szegö problem for the class $C(e_q^{qz})$. Furthermore, known result are discussed in the case $q \rightarrow 1^-$.

2. Main Results

In this section, we give some coefficient estimates for the functions belonging to the class $C(e_q^{qz})$ and solve Fekete-Szegö problem for this class.

First of all, we give the following theorem for coefficient bound estimates.

Theorem 2.1. Let the function f given by series expansions (1.1) belong to the class $C(e_q^{qz})$

Then, we have the following estimates

$$|a_2| \leq q, |a_3| \leq \frac{(2q+1)q}{6} \text{ and } |a_4| \leq \frac{(4q^2+3q+1)q}{12} \text{ for } q \in [0.36959, 1).$$

Proof. Let $f \in C(e_q^{qz})$, then exists a Schwarz function $\omega: U \rightarrow U$, such that

$$\frac{(zf'(z))'}{f'(z)} = e_q^{q\omega(z)}, z \in U. \quad (2.1)$$

According to relationship between the Caratheodory and Schwarz function classes, there exists a function $p \in P$ such that

$$p(z) = \frac{1+\omega(z)}{1-\omega(z)} \Leftrightarrow \omega(z) = \frac{p(z)-1}{p(z)+1}, z \in U.$$

Considering the series expansion (1.3) of the function $p \in P$, we can write the following expression for the function ω :

$$\omega(z) = \frac{p_1}{2}z + \frac{1}{2}\left(p_2 - \frac{p_1^2}{2}\right)z^2 + \frac{1}{2}\left(p_3 - p_1p_2 + \frac{p_1^3}{4}\right)z^3 + \dots, z \in U. \quad (2.2)$$

In view of (1.2) and (2.2), we have

$$e_q^{q\omega(z)} = 1 + \frac{q}{2}p_1z + \frac{q}{2}\left(p_2 - \frac{[2]_q!-q}{2[2]_q!}p_1^2\right)z^2 + \frac{q}{2}\left(p_3 - \frac{[2]_q!-q}{[2]_q!}p_1p_2 + \frac{[2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!}{4[2]_q![3]_q!}p_1^3\right)z^3 + \dots, z \in U. \quad (2.3)$$

By performing the necessary mathematical operations, we write the expression on the left side of equality (2.1) as follows:

$$\frac{(zf'(z))'}{f'(z)} = 1 + a_2z + (6a_3 - 4a_2^2)z^2 + (12a_4 - 18a_2a_3 + 8a_2^3)z^3 + \dots, z \in U. \quad (2.4)$$

Substituting expansions (2.3) and (2.4) into condition (2.1), we arrive at the following identity:

$$a_2z + (6a_3 - 4a_2^2)z^2 + (12a_4 - 18a_2a_3 + 8a_2^3)z^3 + \dots = \frac{q}{2}p_1z + \frac{q}{2}\left(p_2 - \frac{[2]_q!-q}{2[2]_q!}p_1^2\right)z^2 + \frac{q}{2}\left(p_3 - \frac{[2]_q!-q}{[2]_q!}p_1p_2 + \frac{[2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!}{4[2]_q![3]_q!}p_1^3\right)z^3 + \dots, z \in U. \quad (2.5)$$

If we equate the coefficients of the same powers of the variable z on the left and right sides of this equality, we obtain the following expressions containing the first three coefficients of the function f :

$$a_2 = \frac{q}{2}p_1, \quad (2.6)$$

$$6a_3 - 4a_2^2 = \frac{q}{2}\left(p_2 - \frac{[2]_q!-q}{2[2]_q!}p_1^2\right), \quad (2.7)$$

$$12a_4 - 18a_2a_3 + 8a_2^3 = \frac{q}{2} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right). \quad (2.8)$$

Using Lemma 1.2 to the equality (2.6), we have the first result of theorem:

$$|a_2| \leq q. \quad (2.9)$$

Now let's find an upper bound estimate for $|a_3|$. From the equality (2.7), we can write

$$a_3 = \frac{2}{3} a_2^2 + \frac{q}{12} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right). \quad (2.10)$$

Since $([2]_q! - q) / 2[2]_q! = 1/2(1+q) \in [0,1]$ for $q \in (0,1)$, then

$$\left| p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right| \leq 2 \quad (2.11)$$

(see Lemma 1.2). Applying the triangle inequality to the equality (2.10) and considering inequalities (2.9) and (2.11) gives us the following

$$|a_3| \leq \frac{(2q+1)q}{6}. \quad (2.12)$$

From the equality (2.8), we obtain

$$a_4 = \frac{3}{2} a_2 \left(a_3 - \frac{4}{9} a_2^2 \right) + \frac{q}{24} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right).$$

Using triangle inequality to the last equality we get

$$|a_4| \leq \frac{3}{2} |a_2| \left| a_3 - \frac{4}{9} a_2^2 \right| + \frac{q}{24} \left| p_3 - \frac{2-q}{2} p_1 p_2 + \frac{q^2 - 6q + 6}{24} p_1^3 \right|. \quad (2.13)$$

From equality (2.7), it follows

$$a_3 - \frac{4}{9} a_2^2 = \frac{2}{9} a_2^2 + \frac{q}{12} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right).$$

It follows from

$$\left| a_3 - \frac{4}{9} a_2^2 \right| \leq \frac{2}{9} |a_2|^2 + \frac{q}{12} \left| p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right|.$$

Then, similarly to the proof of inequality (2.12), we obtain the following estimate

$$\left| a_3 - \frac{4}{9} a_2^2 \right| \leq \frac{(4q+3)q}{18}. \quad (2.14)$$

Let's write

$$p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 = p_3 - 2Bp_1 p_2 + Dp_1^3$$

where $B = ([2]_q! - q) / 2[2]_q!$ and $D = ([2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!) / 4[2]_q! [3]_q!$.

Since $B \in [0,1]$ and $D \leq B$ for every $q \in (0,1)$, and $B(2B-1) \leq D$ for $q \in [0.36959,1)$, then using Lemma 1.3 we get

$$\left| p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right| \leq 2 \quad (2.15)$$

for $q \in [0.36959,1)$.

Considering the estimate (2.9), (2.14) and (2.15) in the inequality (2.13), we obtain the following estimate for $|a_4|$

$$|a_4| \leq \frac{(4q^2 + 3q + 1)q}{12}, q \in [0.36959,1).$$

Thus, the proof of theorem is completed.

In the case $q \rightarrow 1^-$ from Theorem 2.1, we have the following result.

Corollary 2.1. If $f \in C(e^z)$, then we have

$$|a_2| \leq 1 \quad |a_3| \leq \frac{1}{2} \quad \text{and} \quad |a_4| \leq \frac{2}{3}.$$

Now, we give the following theorem on the Fekete-Szegö problem for the class $C(e_q^{qz})$.

Theorem 2.2. Let $f \in C(e_q^{qz})$ and $\mu \in \mathbb{D}$, then

$$|a_3 - \mu a_2^2| \leq \frac{q}{6} \begin{cases} 1 & \text{if } |6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| \leq \frac{1+q}{q}, \\ \left| 6(1-\mu) - \frac{1+2q}{1+q} \right| q & \text{if } |6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| \geq \frac{1+q}{q}. \end{cases}$$

Proof. Let $f \in C(e_q^{qz})$ and $\mu \in \mathbb{D}$. From the equality (2.7), we can write

$$a_3 - \mu a_2^2 = \frac{2-3\mu}{3} a_2^2 + \frac{q}{12} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right).$$

Applying Lemma 1.1 to this equality and considering equality (2.6), we rewrite

$$a_3 - \mu a_2^2 = \frac{q}{24(1+q)} \left\{ (4 - p_1^2)(1+q)x + q[6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1] p_1^2 \right\} \quad (2.16)$$

for some $x \in \mathbb{D}$ with $|x| \leq 1$.

Using triangle inequality to the equality (2.16), we have

$$|a_3 - \mu a_2^2| \leq \frac{q}{24(1+q)} \left\{ (4 - t^2)(1+q)\xi + q|6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| t^2 \right\} \quad (2.17)$$

where, $\xi = |x|$ and $t = |p_1|$.

By maximizing right side of the inequality (2.17) with respect to parameter ξ , we obtain

$$|a_3 - \mu a_2^2| \leq \frac{q}{24(1+q)} \left\{ \left[\left(|6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| - 1 \right) q - 1 \right] t^2 + 4(1+q) \right\}. \quad (2.18)$$

Let's define the function $\varphi: [0, 2] \rightarrow \mathbb{R}$ defined as follows

$$\varphi(t) = \left[\left(|6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| - 1 \right) q - 1 \right] t^2 + 4(1+q), \quad t \in [0, 2].$$

Since $\varphi'(t) \leq 0$, $t \in [0, 2]$ if $\left(|6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| - 1 \right) q \leq 1$ and $\varphi'(t) \geq 0$, $t \in [0, 2]$ if $\left(|6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| - 1 \right) q \geq 1$, then

$$\varphi(t) \leq 4 \cdot \begin{cases} 1+q & \text{if } |6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| \leq \frac{1+q}{q}, \\ |6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| q & \text{if } |6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| \geq \frac{1+q}{q}. \end{cases}$$

Taking this estimate into account in inequality (2.18), we arrive at the following result:

$$|a_3 - \mu a_2^2| \leq \frac{q}{6} \begin{cases} 1 & \text{if } |6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| \leq \frac{1+q}{q}, \\ \left| 6(1-\mu) - \frac{1+2q}{1+q} \right| q & \text{if } |6(1+q)(1-\mu) - 2q - 1| \geq \frac{1+q}{q}. \end{cases}$$

Thus, the proof of theorem is completed.

In the cases $\mu = 0$ and $\mu = 1$, from Theorem 2.2 we obtain the following results, respectively.

Corollary 2.2. If $f \in C(e_q^{qz})$, then

$$|a_3| \leq \frac{q}{6} \begin{cases} 1 & \text{if } q \in \left(0, \frac{\sqrt{2}-1}{2} \right], \\ \frac{(5+4q)q}{1+q} & \text{if } q \in \left[\frac{\sqrt{2}-1}{2}, 1 \right). \end{cases}$$

Corollary 2.3. If $f \in C(e_q^{qz})$, then

$$|a_3 - a_2^2| \leq \frac{q}{6} \begin{cases} 1 & \text{if } q \in \left(0, \frac{1}{\sqrt{2}} \right], \\ \frac{(1+2q)q}{1+q} & \text{if } q \in \left[\frac{1}{\sqrt{2}}, 1 \right). \end{cases}$$

In addition, when $q \rightarrow 1^-$ from Theorem 2.2, we have the following result.

Corollary 2.4. If $f \in C(e^z)$ and $\mu \in \mathbb{R}$, then we have

$$|a_3 - \mu a_2^2| \leq \frac{1}{4} \begin{cases} \frac{2}{3} & \text{if } |11-14\mu| \leq 2, \\ |3-4\mu| & \text{if } |11-14\mu| \geq 2. \end{cases}$$

Furthermore, in the cases $\mu = 0$ and $\mu = 1$, from Corollary 2.4 we obtain the following results, respectively.

Corollary 2.5. If $f \in C(e^z)$, then we have

$$|a_3| \leq \frac{3}{4}.$$

Corollary 2.6. If $f \in C(e^z)$, then we have

$$|a_3 - a_2^2| \leq \frac{1}{4}.$$

3. Conclusions and Evaluations

In this study, we examined the coefficient and Fekete-Szegö problem for the new class of analytic and univalent functions associated with q – analogue of the q – exponential function. In our study, we found a upper bound estimates for the first three coefficients of the function belonging to this class. Also, we solved the Fekete-Szegö problem for the defined class.

4. General Evaluation and Conclusions

For the class defined in the paper, an upper bound estimate of the second Hankel determinant can also be performed. In addition, the Zalcman conjecture for the class defined in the study can also be examined.

References

- [1] Alotaibi, A., Arif, M., Alghamdi, M. A., Hussain, S. Starlikeness associated with cosine hyperbolic function. Mathematics 8, 1118, 2020.
- [2] Arif, M., Ahmad, K., Liu, J.-L., Sokol, J. A new class of analytic functions associated with Salagean operator. J. Funct. Spaces 2019, 5157394, 2019.
- [3] Arif, M., Tang, H., Hussain, S., Khan, H. Hankel determinant of order three for familiar subsets of analytic functions related with sine function. Open Math., 17, 1615-1630. [CrossRef], 2019.
- [4] Bano, K., Raza, M. Starlike functions associated with cosine function. Bull. Iran. Math. Soc. 47, 1513-1532, 2020.
- [5] Bieberbach, L. Über die Koeffizienten derjenigen Potenzreihen welche eine schlichte Abbildung des Einheitskreises vermitteln. Sitzungsberichte Preuss. Akad. Der Wiss. 138, 940-955, 1916.
- [6] Brannan, D. A., Kirwan, W. E. On some classes of bounded univalent functions. J. Lond.

- Math. Soc. 2, 431-443, 1969.
- [7] Duren, P. L. Univalent Functions. In Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften; Springer: New York, NY, USA; Berlin/Heidelberg, Germany; Tokyo, Japan, Volume 259, 1983.
- [8] Koebe, P. Über die Uniformisierung der algebraischen Kurven, durch automorphe Funktionen mit imaginärer Substitutionsgruppe. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen Math.-Phys. 68-76, 1909.
- [9] Kumar, S. S., Arora, K. Starlike functions associated with a petal shaped domain. ArXiv 2020, arXiv: 2010.10072, 2010.
- [10] Libera, R. J., Zlotkiewicz, E. J. Early coefficients of the inverse of a regular convex function. Proc. Am. Soc., 85, 225-230. [CrossRef], 1982.
- [11] Ma, W. C., Minda, D. A unified treatment of some special classes of univalent functions. In Proceedings of the Conference on Complex Analysis, Tianjin, China; Li, Z., Ren, F., Yang, L., Zhang, S., Eds.; Conference Proceedings and Lecture Notes in Analysis; International Press: Cambridge, MA, USA, Volume I, 157-169, 1994.
- [12] Mendiratta, R., Nagpal, S., Ravichandran, V. On a subclass of strongly starlike functions associated with exponential function. Bull. Malays. Math. Soc. 38, 365-386, 2015.
- [13] Miller, S. S. Differential inequalities and Caratheodory functions. Bull. Am. Math. Soc. 81, 79-81, 1975.
- [14] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç, A. The Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function. 13th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering and Applied Sciences on April 29-30, 242-249, Istanbul, Turkey, 2023.
- [15] Mustafa, N., Nezir, V. Coefficient estimates and Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function. 13th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering and Applied Sciences on May 1-2, 475-481, Istanbul, Turkey, 2023.
- [16] Mustafa, N., Demir, H. A. Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine and cosine functions. 4th International Black Sea Congress on Modern Scientific Research on June 6-8, 2564-2572, Rize Turkey, 2023.
- [17] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç, A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function with complex order. Journal of Scientific and Engineering Research, 10(6), 18-25, 2023.
- [18] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç, A. The Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function with complex order. Eastern Anatolian Journal of Science, 9(1), 1-6, 2023.
- [19] Pommarenke, C. Univalent Function. Vanderhueck and Ruprecht: Göttingen, German, 1975.

[20] Sharma, K., Jain, N. K., Ravichandran, V. Starlike function associated with a cardioid.
Afr. Math. 27, 923-939, 2016.

[21] Sokol, J., Stankiewicz, J. Radius of convexity of some subclasses of strongly starlike
functions. Zesz. Nauk. Politech. Rzesz. Math., vol.19, 101–105, 1996.

**COEFFICIENT AND FEKETE-SZEGÖ PROBLEM FOR CERTAIN SUBCLASS OF
STARLIKE FUNCTIONS ASSOCIATED WITH q – ANALOGUE OF THE q –
EXPONENTIAL FUNCTION**

Prof. Dr. NİZAMİ MUSTAFA

Kafkas University, Kars/TURKEY

nizamimustafa@gmail.com

0000-0002- 2758-0274

Prof. Dr. VEYSEL NEZİR

Kafkas University, Kars/TURKEY

veyselnezir@yahoo.com

0000-0001- 9640-8526

Grad. Stud. SELAHATTİN ÇİN*

Kafkas University, Kars/TURKEY

matematik_ogretmenleri@hotmail.com

0009-0004-7562-1482

ABSTRACT

In this study, by making the use q – analogous of the q – exponential function, we define a new subclass of starlike functions. The aim of this study is to find an upper bound for the first three coefficients of a function belonging to the defined class and for the Fekete-Szegö functional. In addition, the results obtained in this study were compared with known results in the literature when $q \rightarrow 1^-$.

KEYWORDS Fekete-Szegö functional, starlike functions, q – analogue of the q – exponential function

1. Introduction and preliminaries

The purpose of this section is to provide some basic concepts about geometric function theory that will help with understanding the main findings of the study.

By $H(U)$, we will denote the class of analytical functions on open unit disk $U = \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$ in the complex plane $\mathbb{C}$. Let A denote class of the functions $f \in H(U)$ given by the following series expansions

$$f(z) = z + a_2 z^2 + a_3 z^3 + a_4 z^4 + \cdots + a_n z^n + \cdots = z + \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n, \quad a_n \in \mathbb{C}. \quad (1.1)$$

It is clear that the function f belonging to the class A satisfies the conditions $f(0) = 0$ and $f'(0) = 1$. Let S be the class of univalent functions of A . The class S was introduced by Koebe [8] in 1907 and has become the core ingredient of advanced research in this field. Later, many mathematicians became interested find coefficient upper bound estimates for this class. In 1916, Bieberbach [5] published an article in which an conjecture about the coefficients was proposed. This conjecture consist of the following: For every function $f \in S$ are true inequalities $|a_n| \leq n$ for each $n \geq 2$. There were a lot of papers devoted to this conjecture in the literature (see [1,2,4,6,9,12,22,23]).

One of the important classes of univalent functions on the unit open disk is the class of starlike functions. It is well known that the starlike function class in the open unit disk U defined as follows

$$S^* = \left\{ f \in S : \operatorname{Re} \left(\frac{zf'(z)}{f(z)} \right) > 0, \quad z \in U \right\}$$

and denoted by S^* .

In the past few years, numerous subclasses of the class S have been introduced and studied, as special choices of the class S^* (see for example [24,9,12,14-20,25]).

In 1992 Ma and Minda [11] presented a unified version of the class S^* using subordination terminology. It was defined by

$$S^*(\varphi) = \left\{ f \in S : \frac{zf'(z)}{f(z)} \prec \varphi(z), \quad z \in U \right\},$$

where $\varphi(z)$ is a univalent function with $\varphi'(0) > 0$ and $\operatorname{Re}(\varphi(z)) > 0$. Additionally, the region $\varphi(U)$ is star-shaped about the point $\varphi(0) = 1$ and is symmetric along the real-line axis.

For the given functions $f, g \in H(U)$, f is said to be subordinated to g (mathematically written as $f \prec g$), if there exists an analytic function ω defined in U with the restrictions $\omega(0) = 0$ and $|\omega(z)| < 1$ in such a manner that $f(z) = g(\omega(z))$ holds. Moreover, if g is univalent in U , then

$$f \prec g \text{ if and only if } f(0) = g(0) \text{ and } f(U) \subset g(U).$$

It is well known that the first order of Hankel determinant of the function $f \in S$ is determined as $H_{2,1}(f) = a_3 - a_2^2$. For $\mu \in \mathbb{C}$ or $\mu \in \mathbb{R}$ the functional $H_{2,1}(f, \mu) = |a_3 - \mu a_2^2|$ is known as the generalized Fekete-Szegö functional [12]. Estimating the upper bound of $|a_3 - \mu a_2^2|$ is known as the Fekete-Szegö problem in the literature. Many researchers have investigated this problem for different subclasses of analytic functions (see [14,15,17-19]).

For $q \in (0,1)$ the q – analogue of the q – exponential function e_q^{qz} defined as follows

$$e_q^{qz} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(qz)^n}{[n]_q!} = 1 + \frac{qz}{[1]_q!} + \frac{(qz)^2}{[2]_q!} + \frac{(qz)^3}{[3]_q!} + \cdots + \frac{(qz)^n}{[n]_q!} + \cdots, \quad (1.2)$$

where $[n]_q! = [n-1]_q! [n]_q$ and $[n]_q = \frac{1-q^n}{1-q} = 1 + q + q^2 + \cdots + q^{n-1}$.

It is clear that $\lim_{q \rightarrow 1^-} e_q^{qz} = e^z$.

By using the definition of subordination, we introduce a new subclass of starlike functions related to q – analogue of the q – exponential function.

Definition 1.1. For $q \in (0,1)$ a function $f \in S$ is said to be in the class $S^*(e_q^{qz})$ if and only if it satisfies the following condition

$$\frac{zf'(z)}{f(z)} \prec e_q^{qz}, z \in U; \text{ that is, } S^*(e_q^{qz}) = \left\{ f \in S : \frac{zf'(z)}{f(z)} \prec e_q^{qz}, z \in U \right\}.$$

In the case $q \rightarrow 1^-$ from Definition 1.1, we have the following class univalent functions.

Definition 1.2. A function $f \in S$ is said to be in the class $S^*(e^z)$ if and only if it satisfies the following condition

$$\frac{zf'(z)}{f(z)} \prec e^z, z \in U; \text{ that is, } S^*(e^z) = \left\{ f \in S : \frac{zf'(z)}{f(z)} \prec e^z, z \in U \right\}.$$

The class of analytic functions that we will now define holds an important place in the theory of geometric functions. Let P be the class of analytic functions in U with $\operatorname{Re}(p(z)) > 0$ and $p(0) = 1$. It is clear that the functions that satisfy these conditions have the following series expansion

$$p(z) = 1 + p_1 z + p_2 z^2 + p_3 z^3 + \cdots = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} p_n z^n, z \in U. \quad (1.3)$$

This defined class of functions is known in the literature [13] as the Caratheodory class of functions.

The subsequent lemmas are essential for the proof our main results. It includes the well known p_2 formula [23], the p_3 formula introduced by Libera and Zlotkiewicz [10].

Lemma 1.1 Let the an analytic function p be of the form (1.3), then

$$2p_2 = p_1^2 + (4 - p_1^2)x,$$

$$4p_3 = p_1^3 + 2(4 - p_1^2)p_1x - (4 - p_1^2)p_1x^2 + 2(4 - p_1^2)(1 - |x|^2)y,$$

for some $x, y \in \mathbb{D}$ with $|x| \leq 1$ and $|y| \leq 1$.

Lemma 1.2 ([7]). Let the function p belong to the class P . Then,

$$|p_n| \leq 2 \text{ for each } n \in \mathbb{N}.$$

In addition,

$$|p_n - \lambda p_k p_{n-k}| \leq 2 \text{ for } n, k \in \mathbb{N}, n > k \text{ and } \lambda \in [0, 1].$$

The equality hold for the function $p(z) = (1+z)/(1-z)$.

Lemma 1.3 ([3]). Let the function p belong to the class P . Then,

$$|p_3 - 2Bp_1p_2 + Dp_1^3| \leq 2, \text{ if } 0 \leq B \leq 1 \text{ and } B(2B-1) \leq D \leq B.$$

In this paper, we give some coefficient estimates and solve Fekete-Szegö problem for the class $S^*(e_q^{qz})$. Furthermore, some known corollary are highlighted based on the choice of the parameter q .

2. Main Results

In this section, we give some coefficient estimates for the functions belonging to the class $S^*(e_q^{qz})$ and solve Fekete-Szegö problem for this class.

First of all, we give the following theorem for coefficient bound estimates.

Theorem 2.1. Let the function f given by series expansions (1.1) belong to the class $S^*(e_q^{qz})$

Then, we have the following estimates

$$|a_2| \leq q, |a_3| \leq \frac{(q+1)q}{2}, q \in (0, 1) \text{ and } |a_4| \leq \frac{(q^2 + 3q + 2)q}{6}, q \in [0.36959, 1).$$

Proof. Let $f \in S^*(e_q^{qz})$, then exists Schwartz function $\omega: U \rightarrow U$, such that

$$\frac{zf'(z)}{f(z)} = e_q^{q\omega(z)}, z \in U. \quad (2.1)$$

According to the relationship between the Caratheodory and Schwartz function classes, there exists a function $p \in P$ such that

$$p(z) = \frac{1+\omega(z)}{1-\omega(z)} \Leftrightarrow \omega(z) = \frac{p(z)-1}{p(z)+1}, z \in U.$$

Since

$$p(z) = 1 + p_1z + p_2z^2 + p_3z^3 + \dots = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} p_n z^n, z \in U.$$

It follows from that

$$\omega(z) = \frac{p_1}{2}z + \frac{1}{2}\left(p_2 - \frac{p_1^2}{2}\right)z^2 + \frac{1}{2}\left(p_3 - p_1p_2 + \frac{p_1^3}{4}\right)z^3 + \dots, z \in U. \quad (2.2)$$

In view of (1.2) and (2.2), we have

$$e_q^{q\omega(z)} = 1 + \frac{q}{2} p_1 z + \frac{q}{2} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right) z^2 + \frac{q}{2} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right) z^3 + \dots, z \in U. \quad (2.3)$$

We write it using simple differentiation operations

$$\frac{zf'(z)}{f(z)} = 1 + a_2 z + (2a_3 - a_2^2) z^2 + (3a_4 - 3a_2 a_3 + a_2^3) z^3 + \dots, z \in U. \quad (2.4)$$

Substituting expansions (2.3) and (2.4) into condition (2.1), we arrive at the following identity:

$$a_2 z + (2a_3 - a_2^2) z^2 + (3a_4 - 3a_2 a_3 + a_2^3) z^3 + \dots = \frac{q}{2} p_1 z + \frac{q}{2} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right) z^2 + \frac{q}{2} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right) z^3 + \dots, z \in U. \quad (2.5)$$

If we equate the coefficients of the same powers of the variable z on the left and right sides of this equality, we obtain the following expressions containing the first three coefficients of the function f :

$$a_2 = \frac{q}{2} p_1, \quad (2.6)$$

$$2a_3 - a_2^2 = \frac{q}{2} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right), \quad (2.7)$$

$$3a_4 - 3a_2 a_3 + a_2^3 = \frac{q}{2} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right). \quad (2.8)$$

Since $|p_1| \leq 2$ (see Lemma 1.2), then from the equality (2.6), we have the first result of theorem

$$|a_2| \leq q. \quad (2.9)$$

Our next goal will be to set an upper bound for $|a_3|$. From connection (2.7), we arrive at the following expression for the coefficient a_3 :

$$a_3 = \frac{1}{2} a_2^2 + \frac{q}{4} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right). \quad (2.10)$$

Since $([2]_q! - q) / 2[2]_q! = 1/2(1+q) \in [0,1]$ for $q \in (0,1)$, then

$$\left| p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right| \leq 2 \quad (2.11)$$

(see Lemma 1.2). Applying the triangle inequality to the equality (2.10) and considering inequalities (2.9) and (2.11) gives us the following

$$|a_3| \leq \frac{(q+1)q}{2}. \quad (2.12)$$

From the connection (2.8), we obtain

$$a_4 = a_2 \left(a_3 - \frac{1}{3} a_2^2 \right) + \frac{q}{6} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right).$$

From the last equality we can write

$$|a_4| \leq |a_2| \left| a_3 - \frac{1}{3} a_2^2 \right| + \frac{q}{6} \left| p_3 - \frac{2-q}{2} p_1 p_2 + \frac{q^2 - 6q + 6}{24} p_1^3 \right|. \quad (2.13)$$

From the connection (2.7), we find the following expression for $a_3 - \frac{1}{3} a_2^2$:

$$a_3 - \frac{1}{3} a_2^2 = \frac{1}{6} a_2^2 + \frac{q}{4} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right).$$

Then, applying the triangle inequality to the last equality, we obtain the following inequality, similar to the proof of the inequality (2.12)

$$\left| a_3 - \frac{1}{3} a_2^2 \right| \leq \frac{(q+3)q}{6}. \quad (2.14)$$

Given $B = ([2]_q! - q) / 2[2]_q!$ and $D = ([2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!) / 4[2]_q! [3]_q!$, can written

$$p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 = p_3 - 2Bp_1 p_2 + Dp_1^3.$$

Since $B \in [0, 1]$ and $D \leq B$ for every $q \in (0, 1)$, and $B(2B-1) \leq D$ for $q \in [0.36959, 1)$, then using Lemma 1.3 we get

$$\left| p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right| \leq 2 \quad (2.15)$$

for $q \in [0.36959, 1)$.

Considering the estimate (2.9), (2.14) and (2.15) in the inequality (2.13), we obtain the following estimate for $|a_4|$

$$|a_4| \leq \frac{(q^2 + 3q + 2)q}{6}, q \in [0.36959, 1).$$

Thus, the proof of theorem is completed

In the case $q \rightarrow 1^-$ from Theorem 2.1, we have the following result.

Corollary 2.1. If $f \in S^*(e^z)$, then we have

$$|a_2| \leq 1, |a_3| \leq 1 \text{ and } |a_4| \leq 1.$$

Now, we give the following theorem on the Fekete-Szegö problem for the class $S^*(e_q^{qz})$.

Theorem 2.2. Let $f \in S^*(e_q^{qz})$ and $\mu \in \mathbb{R}$, then

$$|a_3 - \mu a_2^2| \leq \frac{q^2}{2(1+q)} \begin{cases} \frac{1+q}{q} & \text{if } |(1+q)(1-\mu)-q| \leq \frac{1+q}{q}, \\ |(1-\mu)(1+q)-q| & \text{if } |(1+q)(1-\mu)-q| \geq \frac{1+q}{q}. \end{cases}$$

Proof. Let $f \in S^*(e_q^{\alpha z})$ and $\mu \in \mathbb{R}$. Then, from the equality (2.7) the generalized Fekete-Szegö functional $a_3 - \mu a_2^2$ can be written as follows

$$a_3 - \mu a_2^2 = \frac{1-2\mu}{2} a_2^2 + \frac{q}{4} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right).$$

Applying the first equality of Lemma 1.1 to this equality and considering equality (2.6), we can rewrite

$$a_3 - \mu a_2^2 = \frac{q}{8(1+q)} \{ [(1+q)(1-\mu)-q] q p_1^2 + (4-p_1^2)(1+q)x \} \quad (2.16)$$

for some $x \in \mathbb{D}$ with $|x| \leq 1$.

Using triangle inequality to the equality (2.16), we have

$$|a_3 - \mu a_2^2| \leq \frac{q}{8(1+q)} \{ |(1+q)(1-\mu)-q| q t^2 + (4-t^2)(1+q)\xi \} \quad (2.17)$$

where, $\xi = |x|$ and $t = |p_1|$ (since $\operatorname{Re}(p(z)) > 0$, then $p_1 > 0$).

By maximizing the expression on the right side of the inequality (2.17) with respect to the variable ξ , we obtain the following inequality

$$|a_3 - \mu a_2^2| \leq \frac{q}{8(1+q)} \{ [|(1+q)(1-\mu)-q| q - (1+q)] t^2 + 4(1+q) \}, t \in [0, 2]. \quad (2.18)$$

Let's define the function $\varphi: [0, 2] \rightarrow \mathbb{R}$ defined as follows

$$\varphi(t) = \{ [|(1+q)(1-\mu)-q|-1] q - 1 \} t^2 + 4(1+q), t \in [0, 2].$$

Since $\varphi'(t) \leq 0, t \in [0, 2]$ if $[|(1+q)(1-\mu)-q|-1] q \leq 1$ and $\varphi'(t) \geq 0, t \in [0, 2]$ if $[|(1+q)(1-\mu)-q|-1] q \geq 1$, then

$$\max \{ \varphi(t) : t \in [0, 2] \} = \varphi(0)$$

if $[|(1+q)(1-\mu)-q|-1] q \leq 1$ and

$$\max \{ \varphi(t) : t \in [0, 2] \} = \varphi(2)$$

if $[|(1+q)(1-\mu)-q|-1] q \geq 1$. So that

$$\varphi(t) \leq 4 \cdot \begin{cases} 1+q & \text{if } [|(1+q)(1-\mu)-q|-1] q \leq 1, \\ |(1+q)(1-\mu)-q| q & \text{if } [|(1+q)(1-\mu)-q|-1] q \geq 1. \end{cases}$$

Taking this estimate into account in inequality (2.18), we arrive at the following result:

$$|a_3 - \mu a_2^2| \leq \frac{q^2}{2(1+q)} \begin{cases} \frac{1+q}{q} & \text{if } |(1+q)(1-\mu) - q| \leq \frac{1+q}{q}, \\ |(1-\mu)(1+q) - q| & \text{if } |(1+q)(1-\mu) - q| \geq \frac{1+q}{q}. \end{cases}$$

Thus, the proof of theorem is completed.

In the cases $\mu = 0$ and $\mu = 1$, from Theorem 2.2 we obtain the following results, respectively.

Corollary 2.2. If $f \in S^*(e^{qz})$, then

$$|a_3| \leq \frac{q}{2}$$

Corollary 2.3. If $f \in S^*(e^{qz})$, then

$$|a_3 - a_2^2| \leq \frac{q}{2}.$$

In addition, when $q \rightarrow 1^-$ from Theorem 2.2, we have the following result.

Corollary 2.4. If $f \in S^*(e^z)$ and $\mu \in \mathbb{R}$, then we have

$$|a_3 - \mu a_2^2| \leq \frac{1}{4} \begin{cases} 2 & \text{if } |1 - 2\mu| \leq 2, \\ |1 - 2\mu| & \text{if } |1 - 2\mu| \geq 2. \end{cases}$$

Furthermore, in the cases $\mu = 0$ and $\mu = 1$, from Corollary 2.4 we obtain the following results, respectively.

Corollary 2.5. If $f \in S^*(e^z)$, then we have

$$|a_3| \leq \frac{1}{2}.$$

Corollary 2.6. If $f \in S^*(e^z)$, then we have

$$|a_3 - a_2^2| \leq \frac{1}{2}.$$

3. Conclusions and Evaluations

In this study, we examined the coefficient and Fekete-Szegö problem for the new subclass of starlike functions associated with q – analogue of the q – exponential function. In our study, we found a upper bound estimates for the first three coefficients of the function belonging to this class. In addition, we solved the Fekete-Szegö problem for the defined class.

4. General Eavluation and Conclusions

For the class defined in the paper, an upper bound estimate of the second Hankel determinant can also be performed. In addition, the Zalcman conjecture for the class defined in the study can also be examined.

References

- [1] Alotaibi, A., Arif, M., Alghamdi, M. A., Hussain, S. Starlikeness associated with cosine hyperbolic function. *Mathematics*, 8, 1118, 2020.
- [2] Arif, M., Ahmad, K., Liu, J.-L., Sokol, J. A new class of analytic functions associated with Salagean operator. *J. Funct. Spaces* 2019, 5157394, 2019.
- [3] Arif, M., Tang, H., Hussain, S., Khan, H. Hankel determinant of order three for familiar subsets of analytic functions related with sine function. *Open Math.*, 17, 1615-1630. [CrossRef], 2019.
- [4] Bano, K., Raza, M. Starlike functions associated with cosine function. *Bull. Iran. Math. Soc.* 47, 1513-1532, 2020.
- [5] Bieberbach, L. Über die Koeffizienten derjenigen Potenzreihen welche eine schlichte Abbildung des Einheitskreises vermitteln. *Sitzungsberichte Preuss. Akad. Der Wiss.* 138, 940-955, 1916.
- [6] Brannan, D. A., Kirwan, W. E. On some classes of bounded univalent functions. *J. Lond. Math. Soc.* 2, 431-443, 1969.
- [7] Duren, P. L. Univalent Functions. In *Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften*; Springer: New York, NY, USA; Berlin/Heidelberg, Germany; Tokyo, Japan, Volume 259, 1983.
- [8] Koebe, P. Über die Uniformisierung der algebraischen Kurven, durch automorpher Funktionen mit imaginärer Substitutionsgruppe. *Nachr. Akad. Wiss. Göttingen Math.-Phys.* 68-76, 1909.
- [9] Kumar, S. S., Arora, K. Starlike functions associated with a petal shaped domain. *ArXiv* 2020, arXiv: 2010.10072, 2010.
- [10] Libera, R. J., Zlotkiewicz, E. J. Early coefficients of the inverse of a regular convex function. *Proc. Am. Soc.*, 85, 225-230. [CrossRef], 1982.
- [11] Ma, W. C., Minda, D. A unified treatment of some special classes of univalent functions. In *Proceedings of the Conference on Complex Analysis, Tianjin, China*; Li, Z., Ren, F., Yang, L., Zhang, S., Eds.; Conference Proceedings and Lecture Notes in Analysis; International Press: Cambridge, MA, USA, Volume I, 157-169, 1994.
- [12] Mendiratta, R., Nagpal, S., Ravichandran, V. On a subclass of strongly starlike functions associated with exponential function. *Bull. Malays. Math. Soc.* 38, 365-386, 2015.

- [13] Miller, S. S. Differential inequalities and Caratheodory functions. Bull. Am. Math. Soc. 81, 79-81, 1975.
- [14] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç. A. The Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function. 13th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering and Applied Sciences on April 29-30, 242-249, Istanbul, Turkey, 2023.
- [15] Mustafa, N., Nezir, V. Coefficient estimates and Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function. 13th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering and Applied Sciences on May 1-2, 475-481, Istanbul, Turkey, 2023.
- [16] Mustafa, N., Demir, H. A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions with associated with sine and cosine functions. 4th International Black Sea Congress on Modern Scientific Research on June 6-8, 2555-2563, Rize Turkey, 2023
- [17] Mustafa, N., Demir, H. A. Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine and cosine functions. 4th International Black Sea Congress on Modern Scientific Research on June 6-8, 2564-2572, Rize Turkey, 2023.
- [18] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç. A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function with complex order. Journal of Scientific and Engineering Research, 10(6), 18-25, 2023.
- [19] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç. A. The Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function with complex order. Eastern Anatolian Journal of Science, 9(1), 1-6, 2023.
- [20] Mustafa, N., Demir, H. A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions with associated with sine and cosine functions with complex order. Journal of Scientific and Engineering Research, 10(6), 131-140. 29-30, 234-241, Istanbul, Turkey, 2023.
- [21] Pommarenke, C. Univalent Function. Vanderhueck and Ruprecht: Göttingen, German, 1975.
- [22] Sharma, K., Jain, N. K., Ravichandran, V. Starlike function associated with a cardioid. Afr. Math. 27, 923-939, 2016.
- [23] Sokol, J., Stankiewicz, J. Radius of conextivity of some subclasses of strongly starlike functions. Zesz. Nauk. Politech. Rzesz. Math., vol.19, 101–105, 1996.
- [24] Sokol, J. A certain class of starlike functions. Comput. Math. Appl., 62, 611-619, 2011.
- [25] Ullah, K., Zainab, S., Arif, M., Darus, M., Shutayi, M. Radius Problems for Starlike Functions Associated with the Tan Hyperbolic Function. J. Funct. Spaces, Article ID 9967640, 2021.

**UPPER BOUND ESTIMATE OF THE SECOND HANKEL DETERMINANT FOR
CERTAIN SUBCLASS OF STARLIKE FUNCTIONS**

Prof. Dr. NİZAMİ MUSTAFA*

Kafkas University, Kars/TURKEY

nizamimustafa@gmail.com

0000-0002- 2758-0274

Prof. Dr. VEYSEL NEZİR

Kafkas University, Kars/TURKEY

veyselnezir@yahoo.com

0000-0001- 9640-8526

Grad. Stud. SELAHATTİN ÇİN

Kafkas University, Kars/TURKEY

matematik_ogretmenleri@hotmail.com

0009-0004-7562-1482

ABSTRACT

In this study, using q -analogous of the q -exponential function, we defined a new subclass of starlike functions. The aim of this study is to find an upper bound estimate for the second Hankel determinant of functions belonging to the defined class. Also, in this study examined Zalcman conjecture for the defined class functions. In addition, the results obtained in this study were compared with known results in the literature when $q \rightarrow 1^-$.

KEYWORDS Zalcman conjecture, Hankel determinant, starlike functions, q -analogue of the q -exponential function

1. Introduction and preliminaries

In this section of our study, we will provide the necessary basic information. In this regard, let the set that consists of analytic functions in the open unit disk $U = \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$ with the below series expansions

$$f(z) = z + a_2 z^2 + a_3 z^3 + a_4 z^4 + \cdots + a_n z^n + \cdots = z + \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n, \quad a_n \in \mathbb{C} \quad (1.1)$$

be denoted by A . The subset of all such types of univalent functions is denoted by S . The class S was introduced by Koebe [10] in 1907 and has become the core ingredient of advanced research in this field. Many people were interested in this concept, but within a short period, Bieberbach [4] published a paper in which the famous coefficient conjectures was proposed. This hypothesis states that if $f \in S$ and has the series form (1.1), then $|a_n| \leq n$ for all $n \geq 2$. In 1985, De-Branges [5] proved Bieberbach conjecture. A number of outstanding scholars found some new subfamilies of the class S of normalized univalent functions associated with different image domains, for example, starlike and convex functions, respectively. These classes are primary and remarkable subclasses of univalent function class S .

It is well known that the starlike function class in the open unit disk U denoted by S^* and defined analytically as follows

$$S^* = \left\{ f \in S : \operatorname{Re} \left(\frac{zf'(z)}{f(z)} \right) > 0, z \in U \right\}.$$

In the past few years, numerous subclasses of the class S have been introduced and studied, as special choices of the class S^* (see for example [1,3,11,15,17-24,28,29]).

An analytic function f along the conditions $\omega(0)=0$ and $|\omega(z)| < 1$ is called Schwarz function. For two functions f and g , which analytic in U , we say that f is subordinate to g (denoted by $f \prec g$), if there exists a Schwarz ω , such that $f(z) = g(\omega(z))$. Moreover, if g is univalent in U , then

$$f \prec g \Leftrightarrow f(0) = g(0) \text{ and } f(U) \subset g(U).$$

In 1994, Ma and Minda [13] presented a unified version of the class S^* using subordination terminology. It was defined by

$$S^*(\varphi) = \left\{ f \in S : \frac{zf'(z)}{f(z)} \prec \varphi(z), z \in U \right\},$$

where $\varphi(z)$ is a univalent function with $\varphi'(0) > 0$ and $\operatorname{Re}(\varphi(z)) > 0$. Additionally, the region $\varphi(U)$ is star-shaped about the point $\varphi(0)=1$ and is symmetric along the real-line axis.

Finding bounds for the function coefficients is one of the most fundamental problems in geometric function theory, since it impacts geometric features. For example, the constraint on the second coefficient provides the growth and distortion.

The Hankel determinant $H_{m,n}(f)$, $m, n \in \mathbb{N}$ for the function $f \in S$ was introduced by Pommerenke [26,27] and defined by

$$H_{m,n}(f) = \begin{vmatrix} a_n & a_{n+1} & \cdots & a_{n+m-1} \\ a_{n+1} & a_{n+2} & \cdots & a_{n+m} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ a_{n+m-1} & a_{n+m} & \cdots & a_{n+2m-2} \end{vmatrix}, \quad m, n \in \mathbb{N}.$$

It is not hard to note that the first and second order of Hankel determinants of the function f can be given by $H_{2,1}(f) = a_3 - a_2^2$ and $H_{2,2}(f) = a_2a_4 - a_3^2$.

There are relatively few results about the Hankel determinant for functions belonging to the general family class S . The first sharp inequality for the function $f \in S$ is given by $|H_{2,n}(f)| \leq c\sqrt{n}$, $n \in \mathbb{N}$, where c is a positive constant. This result is due to Hayman [7]. Additionally, for $f \in S$, it is calculated in [25] that

$$|H_{2,2}(f)| \leq c, \text{ for } c \in \left[1, \frac{11}{3}\right].$$

The challenges of determining the bounds of Hankel determinants for a certain set of complex valued functions have attracted the interests of many researchers. For example, Janteng et al. [8,9] obtained the sharp bounds of $|H_{2,2}(f)|$ for the subfamilies S^* and C . They give the following estimates

$$|H_{2,2}(f)| \leq \begin{cases} 1 & \text{for } f \in S^*, \\ \frac{1}{8} & \text{for } f \in C. \end{cases}$$

In 1960, Zalcman defined the conjecture for univalent functions. He stated that every $f \in S$ of the form (1.1) satisfies the following inequality:

$$|a_n^2 - a_{2n-1}| \leq (n-1)^2 \quad (1.2)$$

for $n \in \mathbb{N}_2 = \{2, 3, \dots\}$.

In 1999, Ma [14] proved a generalized version of Zalcman conjecture and stated that every univalent function $f \in S$ satisfies the following inequality:

$$|a_n a_m - a_{n+m-1}| \leq (n-1)(m-1) \quad (1.3)$$

for $n, m \in \mathbb{N}_2 = \{2, 3, \dots\}$.

For $n = m = 2$, the inequality (1.2) and (1.3) has the form

$$|a_2^2 - a_3| \leq 1.$$

The class of analytic functions that we will now define holds an important place in the theory of geometric functions. Let P be the class of analytic functions in U with $\operatorname{Re}(p(z)) > 0$ and $p(0) = 1$. It is clear that the functions that satisfy these conditions have the following series expansion

$$p(z) = 1 + p_1 z + p_2 z^2 + p_3 z^3 + \dots = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} p_n z^n, \quad z \in U. \quad (1.4)$$

From the subordination principle, we have

$$P = \left\{ p \in A : p(z) \prec \frac{1+z}{1-z}, z \in U \right\}.$$

The class P defined above is known as the class of Caratheodory functions [16].

For $q \in (0, 1)$ the q -analogue of the exponential function e_q^{qz} defined as follows

$$e_q^{qz} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(qz)^n}{[n]_q!} = 1 + \frac{qz}{[1]_q!} + \frac{(qz)^2}{[2]_q!} + \frac{(qz)^3}{[3]_q!} + \dots + \frac{(qz)^n}{[n]_q!} + \dots, \quad (1.5)$$

where $[n]_q! = [n-1]_q! [n]_q$ and $[n]_q = \frac{1-q^n}{1-q} = 1 + q + q^2 + \dots + q^{n-1}$. It is clear that $\lim_{q \rightarrow 1^-} e_q^{qz} = e^z$.

By using the definition of subordination, we introduce a new subclass of starlike functions related to q – analogue of the q – exponential function.

Definition 1.1. For $q \in (0,1)$ a function $f \in S$ is said to be in the class $S^*(e_q^{qz})$ if and only if it satisfies the following condition

$$\frac{zf'(z)}{f(z)} \prec e_q^{qz}, z \in U; \text{ that is, } S^*(e_q^{qz}) = \left\{ f \in S : \frac{zf'(z)}{f(z)} \prec e_q^{qz}, z \in U \right\}.$$

In the case $q \rightarrow 1^-$ from Definition 1.1, we have the following class univalent functions.

Definition 1.2. A function $f \in S$ is said to be in the class $S^*(e^z)$ if and only if it satisfies the following condition

$$\frac{zf'(z)}{f(z)} \prec e^z, z \in U; \text{ that is, } S^*(e^z) = \left\{ f \in S : \frac{zf'(z)}{f(z)} \prec e^z, z \in U \right\}.$$

The subsequent lemmas are essential for the proof our main results. It includes the well known p_2 formula [26], the p_3 formula introduced by Libera and Zlotkiewicz [12].

Lemma 1.1 Let the an analytic function p be of the form (1.4), then

$$2p_2 = p_1^2 + (4 - p_1^2)x, \\ 4p_3 = p_1^3 + 2(4 - p_1^2)p_1x - (4 - p_1^2)p_1x^2 + 2(4 - p_1^2)(1 - |x|^2)y,$$

for some $x, y \in \mathbb{D}$ with $|x| \leq 1$ and $|y| \leq 1$.

Lemma 1.2 ([6]). Let the function p belong to the class P . Then,

$$|p_n| \leq 2 \text{ for each } n \in \mathbb{N} \text{ and } |p_n - \lambda p_k p_{n-k}| \leq 2 \text{ for } n, k \in \mathbb{N}, n > k \text{ and } \lambda \in [0,1].$$

The equality hold for the function $p(z) = (1+z)/(1-z)$.

Lemma 1.3 ([2]). Let the function p belong to the class P . Then,

$$|p_3 - 2Bp_1p_2 + Dp_1^3| \leq 2, \text{ if } 0 \leq B \leq 1 \text{ and } B(2B-1) \leq D \leq B.$$

In this paper, we give upper bound estimate of the second Hankel determinant for the class $S^*(e^{qz})$. Additionally, in the study we are examine the Zalcman conjecture for the defined class.

2. Main Results

a. Upper Bound Estimate for the Second Hankel Determinant

In this subsection, we give the following theorem on upper bound estimate of the second Hankel determinant for the function class $S^*(e_q^{qz})$.

Theorem 2.1.1. Let the function f given by series expansions (1.1) belong to the class $S^*(e_q^{qz})$. Then, we have the following upper bound estimate for the second Hankel determinant

$$|a_2 a_4 - a_3^2| \leq \frac{(4q^2 + 3q + 7)q^2}{12} \text{ for } q \in [0.36959, 1).$$

Proof. Let $f \in S^*(e_q^{qz})$, then exists Schwarz function $\omega: U \rightarrow U$, such that

$$\frac{zf'(z)}{f(z)} = e_q^{q\omega(z)}, \quad z \in U. \quad (2.1.1)$$

According to the relationship between the Caratheodory and Schwarz function classes, there exists a function $p \in P$ such that

$$p(z) = \frac{1 + \omega(z)}{1 - \omega(z)} \Leftrightarrow \omega(z) = \frac{p(z) - 1}{p(z) + 1}, \quad z \in U.$$

Since

$$p(z) = 1 + p_1 z + p_2 z^2 + p_3 z^3 + \dots = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} p_n z^n, \quad z \in U$$

it follows from that

$$\omega(z) = \frac{p_1}{2} z + \frac{1}{2} \left(p_2 - \frac{p_1^2}{2} \right) z^2 + \frac{1}{2} \left(p_3 - p_1 p_2 + \frac{p_1^3}{4} \right) z^3 + \dots, \quad z \in U. \quad (2.1.2)$$

In view of (1.5) and (2.1.2), we have

$$\begin{aligned} e_q^{q\omega(z)} &= 1 + \frac{q}{2} p_1 z + \frac{q}{2} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right) z^2 + \\ &\frac{q}{2} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right) z^3 + \dots, \quad z \in U. \end{aligned} \quad (2.1.3)$$

We write it using simple differentiation operations

$$\frac{zf'(z)}{f(z)} = 1 + a_2 z + (2a_3 - a_2^2) z^2 + (3a_4 - 3a_2 a_3 + a_2^3) z^3 + \dots, \quad z \in U. \quad (2.1.4)$$

Substituting expansions (2.1.3) and (2.1.4) into condition (2.1.1), we arrive at the following identity:

$$\begin{aligned} a_2 z + (2a_3 - a_2^2) z^2 + (3a_4 - 3a_2 a_3 + a_2^3) z^3 + \dots &= \frac{q}{2} p_1 z + \frac{q}{2} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right) z^2 \\ &+ \frac{q}{2} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right) z^3 + \dots, \quad z \in U. \end{aligned} \quad (2.1.5)$$

If we equate the coefficients of the same powers of the variable z on the left and right sides of this equality, we obtain the following expressions containing the first three coefficients of the function f :

$$a_2 = \frac{q}{2} p_1, \quad (2.1.6)$$

$$2a_3 - a_2^2 = \frac{q}{2} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right), \quad (2.1.7)$$

$$3a_4 - 3a_2a_3 + a_2^3 = \frac{q}{2} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1p_2 + \frac{[2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!}{4[2]_q![3]_q!} p_1^3 \right). \quad (2.1.8)$$

Let's set an upper bound for $a_2a_4 - a_3^2$. For this, we find the expression $a_2a_4 - a_3^2$ from equality (2.1.8) as follows

$$a_2a_4 - a_3^2 = a_3(a_2^2 - a_3) - \frac{1}{3}a_2^4 + \frac{q}{6}a_2 \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1p_2 + \frac{[2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!}{4[2]_q![3]_q!} p_1^3 \right).$$

Using triangle inequality to the last equality we arrive at the following inequality

$$|a_2a_4 - a_3^2| \leq |a_3||a_2^2 - a_3| + \frac{1}{3}|a_2|^4 + \frac{q}{6}|a_2| \left| p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1p_2 + \frac{[2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!}{4[2]_q![3]_q!} p_1^3 \right|. \quad (2.1.9)$$

Our next goal will be to set an upper bound for $|a_2|$ and $|a_3|$.

Since $|p_1| \leq 2$ (see Lemma 1.2), from the equality (2.1.6) we find

$$|a_2| \leq q. \quad (2.1.10)$$

From connection (2.1.7), we arrive at the following expression for the coefficient a_3 :

$$a_3 = \frac{1}{2}a_2^2 + \frac{q}{4} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right). \quad (2.1.11)$$

Since $\left([2]_q! - q \right) / 2[2]_q! = 1/2(1+q) \in [0,1]$ for $q \in (0,1)$, then

$$\left| p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right| \leq 2 \quad (2.1.12)$$

(see Lemma 1.2). Applying the triangle inequality to the equality (2.1.11) and considering inequalities (2.1.10) and (2.1.12) gives us the following

$$|a_3| \leq \frac{(q+1)q}{2}. \quad (2.1.13)$$

Now let's find an upper limit assessment for $|a_2^2 - a_3|$. We are entitled to it from the equality (2.1.7)

$$a_3 - a_2^2 = \frac{q}{4} \left(p_2 - \frac{q^2 + q + 1}{2(1+q)} p_1^2 \right).$$

Since $(q^2 + q + 1)/2(1+q) \in [0,1]$ for $q \in (0,1)$, then

$$|a_3 - a_2^2| \leq \frac{q}{2} \quad (2.1.14)$$

(see Lemma 1.2).

In addition, given $B = ([2]_q! - q)/2[2]_q!$ and $D = ([2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!)/4[2]_q![3]_q!$ we can write

$$p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!}{4[2]_q![3]_q!} p_1^3 = p_3 - 2Bp_1 p_2 + Dp_1^3.$$

Since $B \in [0,1]$ and $D \leq B$ for every $q \in (0,1)$, and $B(2B-1) \leq D$ for $q \in [0.36959,1)$, then using Lemma 1.3 we get

$$\left| p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!}{4[2]_q![3]_q!} p_1^3 \right| \leq 2 \quad (2.1.15)$$

for $q \in [0.36959,1)$.

As a result, from (2.1.9), (2.1.10) and (2.1.13)-(2.1.15) we arrive at the following result:

$$|a_2 a_4 - a_3^2| \leq \frac{(4q^2 + 3q + 7)q^2}{12}, \quad q \in [0.36959,1).$$

Thus, the proof of theorem is completed.

In the case $q \rightarrow 1^-$ from the Theorem 2.1.1, we have the following result.

Corollary 2.1.1. If $f \in S^*(e^z)$, then we have

$$|a_2 a_4 - a_3^2| \leq \frac{7}{6}.$$

b. The Zalcman and Generalized Zalcman Conjecture

In this subsection, we will examine the Zalcman conjecture for the class $S^*(e_q^{qz})$.

As we stated in the introduction to our study, Zalcman, in the assumption she defined in 1960, states that every univalent function $f \in S$ satisfies the inequality

$$|a_n^2 - a_{2n-1}| \leq (n-1)^2$$

for $n \in \mathbb{N}_2 = \{2, 3, \dots\}$. Also, in 1999, Ma [25] proved a generalized version of Zalcman conjecture and stated that every univalent function $f \in S$ satisfies the following inequality

$$|a_n a_m - a_{n+m-1}| \leq (n-1)(m-1)$$

for $n, m \in \mathbb{N}_2 = \{2, 3, \dots\}$.

For $n = m = 2$, the above inequalities has the form

$$|a_2^2 - a_3| \leq 1$$

for the univalent function $f \in S$.

In subsection 2.1 of our study, while proving Theorem 2.1.1, we also proved the following result (see (2.1.14)).

Theorem 2.2.1. Let the function f given by series expansions (1.1) belong to the class $S^*(e_q^{qz})$. Then, we have

$$|a_3 - a_2^2| \leq \frac{q}{2}.$$

In the case $q \rightarrow 1^-$ from the Theorem 2.2.1, we have the following result.

Corollary 2.2.1. If $f \in S^*(e^z)$, then we have

$$|a_3 - a_2^2| \leq \frac{1}{2}.$$

Now let's give the following theorem on the generalized Zalcman conjecture.

Theorem 2.2.2. Let the function f given by series expansions (1.1) belong to the class $S^*(e_q^{qz})$

Then, we have

$$|a_2 a_3 - a_4| \leq \frac{(q^2 + 1)q}{3} \text{ for } q \in [0.36959, 1).$$

Proof. Let $f \in S^*(e_q^{qz})$, then from the equality (2.1.8) we can write

$$a_4 - a_2 a_3 = \frac{q}{6} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right) - \frac{a_2^3}{3}.$$

Applying the triangle inequality to this equality and using inequalities (2.1.10) and (2.1.15), we arrive at the result of theorem.

When $q \rightarrow 1^-$, from Theorem 2.2.2 we have the following result.

Corollary 2.2.3. If $f \in S^*(e^z)$, then we have

$$|a_4 - a_2 a_3| \leq \frac{2}{3}.$$

3. Conclusions and Evaluations

This study provides an estimate of an upper bound for the second Hankel determinant of functions belonging to the class defined in the article. Furthermore, the Zalcman conjecture is examined for functions belonging to the class defined in this study.

4.General Eavluation and Conclusions

An upper bound estimate can be found for the fourth coefficient of the function belonging to the class defined in the article. Furthermore, an upper bound estimate can also be given for the third Hankel determinant for the class defined in the study.

References

- [1] Alotaibi, A., Arif, M., Alghamdi, M. A., Hussain, S. Starlikeness associated with cosine hyperbolic function. *Mathematics* 8, 1118, 2020.
- [2] Arif, M., Tang, H., Hussain, S., Khan, H. Hankel determinant of order three for familiar subsets of analytic functions related with sine function. *Open Math.*, 17, 1615-1630. [CrossRef], 2019.
- [3] Bano, K., Raza, M. Starlike functions associated with cosine function. *Bull. Iran. Math. Soc.* 47, 1513-1532, 2020.
- [4] Bieberbach, L. Über die Koeffizienten derjenigen Potenzreihen welche eine schlichte Abbildung des Einheitskreises vermitteln. *Sitzungsberichte Preuss. Akad. Der Wiss.*, 138, 940-955, 1916.
- [5] De Branges, L. A proof of the Bieberbach conjecture. *Acta Math.* 1985, 154, 137-152, 1985.
- [6] Duren, P. L. *Univalent Functions*. In *Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften*; Springer: New York, NY, USA; Berlin/Heidelberg, Germany; Tokyo, Japan, Volume 259, 1983.
- [7] Hayman, W. K. On second Hankel determinant of mean univalent functions. *Proc. Lond. Math. Soc.*, 3, 77-94. [CrossRef], 1968.
- [8] Janteng, A., Halim, S. A., Darus, M. Coefficient inequality for a function whose derivative has a positive real part. *J. Inequal Pure Appl. Math.*, 7, 1-5, 2006.
- [9] Janteng, A., Halim, S. A., Darus, M. Hankel determinant for starlike and convex functions. *Int. J. Math. Anal.*, 1, 619-625, 2007.
- [10] Koebe, P. Über die Uniformisierung der algebraischen Kurven, durch automorphe Funktionen mit imaginärer Substitutionsgruppe. *Nachr. Akad. Wiss. Göttingen Math.-Phys.*, 68-76, 1909.
- [11] Kumar, S. S., Arora, K. Starlike functions associated with a petal shaped domain. *ArXiv* 2020, arXiv: 2010.10072, 2020.
- [12] Libera, R. J., Zlotkiewicz, E. J. Early coefficients of the inverse of a regular convex function. *Proc. Am. Soc.* 1982, 85, 225-230. [CrossRef], 1982.
- [13] Ma, W. C., Minda, D. A unified treatment of some special classes of univalent functions. In *Proceedings of the Conference on Complex Analysis, Tianjin, China*; Li, Z., Ren, F., Yang, L., Zhang, S., Eds.; Conference Proceedings and Lecture Notes in Analysis; International Press: Cambridge, MA, USA, Volume I, 157-169, 1994.

- [14] Ma, W. Generalized Zalcman conjecture for starlike and typically real functions. *J. Math. Anal. Appl.* 1999, 234, 328-339. [CroosRef], 1999.
- [15] Mendiratta, R., Nagpal, S., Ravichandran, V. On a subclass of strongly starlike functions associated with exponential function. *Bull. Malays. Math. Soc.*, 8, 365-386, 2015.
- [16] Miller, S. S. Differential inequalities and Caratheodory functions. *Bull. Am. Math. Soc.* 81, 79-81. [CroosRef], 1975.
- [17] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç, A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function. 13th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering and Applied Sciences on April 29-30, 234-241, Istanbul, Turkey, 2023.
- [18] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç, A. The Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function. 13th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering and Applied Sciences on April 29-30, 242-249, Istanbul, Turkey, 2023.
- [19] Mustafa, N., Nezir, V. Coefficient estimates and Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function. 13th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering and Applied Sciences on May 1-2, 475-481, Istanbul, Turkey, 2023.
- [20] Mustafa, N., Demir, H. A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions with associated with sine and cosine functions. 4th International Black Sea Congress on Modern Scientific Research on June 6-8, 2555-2563, Rize Turkey, 2023.
- [21] Mustafa, N., Demir, H. A. Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine and cosine functions. 4th International Black Sea Congress on Modern Scientific Research on June 6-8, 2564-2572, Rize Turkey, 2023.
- [22] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç, A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function with complex order. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 10(6), 18-25, 2023.
- [23] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç, A. The Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function with complex order. *Eastern Anatolian Journal of Science*, 9(1), 1-6, 2023.
- [24] Mustafa, N., Demir, H. A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions with associated with sine and cosine functions with complex order. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 10(6), 131-140, 2023.
- [25] Obradovic, M., Tuneski, N. Hankel determinants of second and third order for the class S of univalent functions. *arXiv* 2019, arXiv:1912.06439, 2019.
- [26] Pommarenke, C. *Univalent Function*. Vanderhueck and Ruprecht: Göttingen, German, 1975.
- [27] Pommarenke, C. On the Hankel determinants of univalent functions. *Mathematika*, 14, 108-112, 1967.
- [28] Sokol, J. A certain class of starlike functions. *Comput. Math. Appl.*, 62, 611-619, 2011.
- [29] Ullah, K., Zainab, S., Arif, M., Darus, M., Shutayi, M. Radius Problems for Starlike

Functions Associated with the Tan Hyperbolic Function. J. Funct. Spaces, Article ID 9967640, 2021.

UPPER BOUND ESTIMATE OF THE SECOND HANKEL DETERMINANT FOR CERTAIN SUBCLASS OF CONVEX FUNCTIONS

Prof. Dr. NİZAMİ MUSTAFA*

Kafkas University, Kars/TURKEY

nizamimustafa@gmail.com

0000-0002- 2758-0274

Prof. Dr. VEYSEL NEZİR

Kafkas University, Kars/TURKEY

veyselnezir@yahoo.com

0000-0001- 9640-8526

Grad. Stud. SELAHATTİN ÇİN

Kafkas University, Kars/TURKEY

matematik_ogretmenleri@hotmail.com

0009-0004-7562-1482

ABSTRACT

In this study, by making the use q -analogous of the q -exponential function, we defined a new subclass of convex functions. The aim of this study is to find an upper bound estimate for the second Hankel determinant of functions belonging to the defined class. Also, in this study we examine the Zalcman conjecture for the defined class. In addition, the results obtained in this study were compared with existing results in the literature when $q \rightarrow 1^-$.

KEYWORDS Zalcman conjecture, Hankel determinant, convex function, q -analogue of the q -exponential function

1. Introduction and preliminaries

The purpose of this section is to provide some basic information that will help in understanding the main findings of the study.

Let A be the class of analytic functions in the open unit disk $U = \{z \in \mathbb{C} : |z| < 1\}$ of the complex plane that satisfy the normalization conditions $f(0) = 0$ and $f'(0) = 1$. It is clear that, every function $f \in A$ has the following series expansion:

$$f(z) = z + a_2 z^2 + a_3 z^3 + a_4 z^4 + \cdots + a_n z^n + \cdots = z + \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n, \quad a_n \in \mathbb{C}. \quad (1.1)$$

The subset of all such types of univalent functions is denoted by S . The class S was introduced by Koebe [10] in 1907 and has become the core ingredient of advanced research in this field. Although function theory was initiated in 1851, in 1916, Bieberbach [4] conjecture unfolded this field and gave a new direction for research. This hypothesis consists of the following: If $f \in S$ and has the series form (1.1), then $|a_n| \leq n$ for each $n \geq 2$. In 1985, De-Branges [5] proved Bieberbach conjecture. A number of outstanding scholars found some new subfamilies of the class S of normalized univalent functions associated with different image domains, for example, starlike and convex functions, respectively. These classes are primary and remarkable subclasses of univalent function class S .

It is well known that the convex function class in the open unit disk U is denoted by C and defined analytically as follows

$$C = \left\{ f \in S : \operatorname{Re} \left(\frac{(zf'(z))'}{f'(z)} \right) > 0, z \in U \right\}.$$

In the past few years, numerous subclasses of the class S have been introduced and studied, as special choices of the class C (see for example [1,3,11,15,17-24,28,29]).

An analytic function f along the conditions $\omega(0)=0$ and $|\omega(z)|<1$ is called Schwarz function. For two functions f and g , which analytic in U , we say that f is subordinate to g (denoted by $f \prec g$), if there exists a Schwarz ω , such that $f(z) = g(\omega(z))$. Moreover, if g is univalent in U , then

$$f \prec g \Leftrightarrow f(0) = g(0) \text{ and } f(U) \subset g(U).$$

In 199 Ma and Minda [13] presented a unified version of the class C using subordination terminology. It was defined by

$$C(\varphi) = \left\{ f \in S : \frac{(zf'(z))'}{f'(z)} \prec \varphi(z), z \in U \right\},$$

where $\varphi(z)$ is a univalent function with $\varphi'(0) > 0$ and $\operatorname{Re}(\varphi(z)) > 0$. Additionally, the region $\varphi(U)$ is star-shaped about the point $\varphi(0)=1$ and is symmetric along the real-line axis.

Finding bounds for the function coefficients is one of the most fundamental problems in geometric function theory, since it impacts geometric features. For example, the constraint on the second coefficient provides the growth and distortion.

The Hankel determinant $H_{m,n}(f)$, $m, n \in \mathbb{N}$ for the function $f \in S$ was introduced by Pommerenke [26,27] and defined by

$$H_{m,n}(f) = \begin{vmatrix} a_n & a_{n+1} & \cdots & a_{n+m-1} \\ a_{n+1} & a_{n+2} & \cdots & a_{n+m} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ a_{n+m-1} & a_{n+m} & \cdots & a_{n+2m-2} \end{vmatrix}, \quad m, n \in \mathbb{N}.$$

It is not hard to note that the first and second order of Hakel determinants of the function f can be given by $H_{2,1}(f) = a_3 - a_2^2$ and $H_{2,2}(f) = a_2 a_4 - a_3^2$.

There are relatively few results about the Hankel determinant for functions belonging to the general family class S . The first sharp inequality for the function $f \in S$ is given by $|H_{2,n}(f)| \leq c\sqrt{n}$, $n \in \mathbb{N}$, where c is a positive constant. This result is due to Hayman [7]. Additionally, for $f \in S$, it is calculated in [25] that

$$|H_{2,2}(f)| \leq c, \text{ for } c \in \left[1, \frac{11}{3}\right].$$

The challenges of determining the bounds of Hankel determinants for a certain set of complex valued functions have attracted the interests of many researchers. For example, Janteng et al. [8,9] obtained the sharp bounds of $|H_{2,2}(f)|$ for the subfamilies S^* and C . They give the following estimates

$$|H_{2,2}(f)| \leq \begin{cases} 1 & \text{for } f \in S^*, \\ \frac{1}{8} & \text{for } f \in C. \end{cases}$$

In 1960, Zalcman defined the conjecture for univalent functions. He stated that every $f \in S$ of the form (1.1) satisfies the following inequality:

$$|a_n^2 - a_{2n-1}| \leq (n-1)^2 \quad (1.2)$$

for $n \in \mathbb{N}_2 = \{2, 3, \dots\}$.

In 1999, Ma [14] proved a generalized version of Zalcman conjecture and stated that every univalent function $f \in S$ satisfies the following inequality:

$$|a_n a_m - a_{n+m-1}| \leq (n-1)(m-1) \quad (1.3)$$

for $n, m \in \mathbb{N}_2 = \{2, 3, \dots\}$.

For $n = m = 2$, the inequality (1.2) and (1.3) has the form

$$|a_2^2 - a_3| \leq 1.$$

The class of analytic functions that we will now define holds an important place in the theory of geometric functions. Let P be the class of analytic functions in U with $\operatorname{Re}(p(z)) > 0$ and $p(0) = 1$. It is clear that the functions that satisfy these conditions have the following series expansion

$$p(z) = 1 + p_1 z + p_2 z^2 + p_3 z^3 + \dots = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} p_n z^n, \quad z \in U. \quad (1.4)$$

From the suborditaion principle, we have

$$P = \left\{ p \in A : p(z) \prec \frac{1+z}{1-z}, z \in U \right\}.$$

The class P defined above is known as the class of Caratheodory functions [16].

For $q \in (0,1)$ the q – analogue of the exponential function e^{qz} defined as follows

$$e_q^{qz} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(qz)^n}{[n]_q!} = 1 + \frac{qz}{[1]_q!} + \frac{(qz)^2}{[2]_q!} + \frac{(qz)^3}{[3]_q!} + \dots + \frac{(qz)^n}{[n]_q!} + \dots, \quad (1.5)$$

where $[n]_q! = [n-1]_q! [n]_q$ and $[n]_q = \frac{1-q^n}{1-q} = 1 + q + q^2 + \dots + q^{n-1}$. It is clear that $\lim_{q \rightarrow 1^-} e_q^{qz} = e^z$.

By using the definition of subordination, we introduce a new class of convex functions connected with the q – analogue of the q – exponential function.

Definition 1.1. For $q \in (0,1)$ a function $f \in S$ is said to be in the class $C(e_q^{qz})$ if and only if it satisfies the following condition

$$\frac{(zf'(z))'}{f'(z)} \prec e_q^{qz}, z \in U; \text{ that is, } C(e_q^{qz}) = \left\{ f \in S : \frac{(zf'(z))'}{f'(z)} \prec e_q^{qz}, z \in U \right\}.$$

In the case $q \rightarrow 1^-$ from Definition 1.1, we have the following class univalent functions.

Definition 1.2. A function $f \in S$ is said to be in the class $C(e^z)$ if and only if it satisfies the following condition

$$\frac{(zf'(z))'}{f'(z)} \prec e^z, z \in U; \text{ that is, } C(e^z) = \left\{ f \in S : \frac{(zf'(z))'}{f'(z)} \prec e^z, z \in U \right\}.$$

The subsequent lemmas are essential for the proof our main results. It includes the well known p_2 formula [26], the p_3 formula introduced by Libera and Zlotkiewicz [12].

Lemma 1.1 Let the an analytic function p be of the form (1.4), then

$$2p_2 = p_1^2 + (4 - p_1^2)x, \\ 4p_3 = p_1^3 + 2(4 - p_1^2)p_1x - (4 - p_1^2)p_1x^2 + 2(4 - p_1^2)(1 - |x|^2)y,$$

for some $x, y \in \mathbb{D}$ with $|x| \leq 1$ and $|y| \leq 1$.

Lemma 1.2 ([6]). Let the function p belong to the class P . Then,

$$|p_n| \leq 2 \text{ for each } n \in \mathbb{N}$$

and

$$|p_n - \lambda p_k p_{n-k}| \leq 2 \text{ for } n, k \in \mathbb{N}, n > k \text{ and } \lambda \in [0,1].$$

The equality hold for the function $p(z) = (1+z)/(1-z)$.

Lemma 1.3 ([2]). Let the function p belong to the class P . Then,

$$\left| p_3 - 2Bp_1p_2 + Dp_1^3 \right| \leq 2, \text{ if } 0 \leq B \leq 1 \text{ and } B(2B-1) \leq D \leq B.$$

In this paper, we give upper bound estimate of the second Hankel determinant for the class $C(e_q^{qz})$. Additionally, in the study we are examine the Zalcman conjecture for the defined class.

2. Main Results

2.1. Upper Bound Estimate for the Second Hankel Determinant

In this subsection, we give the following theorem on upper bound estimate of the second Hankel determinant for the function class $C(e_q^{qz})$.

Theorem 2.1.1. Let the function f given by series expansions (1.1) belong to the class $C(e_q^{qz})$.

Then, we have

$$\left| a_2a_4 - a_3^2 \right| \leq \frac{(1+9q+20q^2+24q^2+3)q^2}{36} \text{ for } q \in [0.36959, 1).$$

Proof. Let $f \in C(e_q^{qz})$, then exists a Schwarz function $\omega: U \rightarrow U$, such that

$$\frac{(zf'(z))'}{f'(z)} = e_q^{q\omega(z)}, z \in U. \quad (2.1.1)$$

According to the relationship between the Caratheodory and Schwarz function classes, there exists a function $p \in P$ such that

$$p(z) = \frac{1+\omega(z)}{1-\omega(z)} \Leftrightarrow \omega(z) = \frac{p(z)-1}{p(z)+1}, z \in U.$$

Since

$$p(z) = 1 + p_1z + p_2z^2 + p_3z^3 + \dots = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} p_nz^n, z \in U.$$

It follows from that

$$\omega(z) = \frac{p_1}{2}z + \frac{1}{2}\left(p_2 - \frac{p_1^2}{2}\right)z^2 + \frac{1}{2}\left(p_3 - p_1p_2 + \frac{p_1^3}{4}\right)z^3 + \dots, z \in U. \quad (2.1.2)$$

In view of (1.5) and (2.1.2), we have

$$\begin{aligned} e_q^{q\omega(z)} &= 1 + \frac{q}{2}p_1z + \frac{q}{2}\left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!}p_1^2\right)z^2 + \\ &\frac{q}{2}\left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!}p_1p_2 + \frac{[2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!}{4[2]_q![3]_q!}p_1^3\right)z^3 + \dots, z \in U. \end{aligned} \quad (2.1.3)$$

By performing the necessary mathematical operations, we write the expression on the left side of equality (2.1.1) as follows:

$$\frac{(zf'(z))'}{f'(z)} = 1 + a_2 z + (6a_3 - 4a_2^2)z^2 + (12a_4 - 18a_2a_3 + 8a_2^3)z^3 + \dots, z \in U. \quad (2.1.4)$$

By substituting expansions (2.1.3) and (2.1.4) into condition (2.1.1), we arrive at the following connection containing the coefficients a_2 , a_3 and a_4 of the function f :

$$\begin{aligned} a_2 z + (6a_3 - 4a_2^2)z^2 + (12a_4 - 18a_2a_3 + 8a_2^3)z^3 + \dots &= \frac{q}{2} p_1 z + \frac{q}{2} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right) z^2 \\ &+ \frac{q}{2} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right) z^3 + \dots, z \in U. \end{aligned} \quad (2.1.5)$$

To ensure the identity of (2.1.5), the following relationships must be provided for the coefficients:

$$a_2 = \frac{q}{2} p_1, \quad 6a_3 - 4a_2^2 = \frac{q}{2} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right), \quad (2.1.6)$$

$$12a_4 - 18a_2a_3 + 8a_2^3 = \frac{q}{2} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right). \quad (2.1.7)$$

Let's set an upper bound for $a_2 a_4 - a_3^2$. For this, we find the expression $a_2 a_4 - a_3^2$ from equality (2.1.7) as follows

$$a_2 a_4 - a_3^2 = a_3 \left(\frac{3}{2} a_2^2 - a_3 \right) - \frac{2a_2^4}{3} + \frac{qa_2}{24} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right).$$

Using triangle inequality to the last equality we arrive at the following inequality

$$\left| a_2 a_4 - a_3^2 \right| \leq |a_3| \left| \frac{3}{2} a_2^2 - a_3 \right| + \frac{2|a_2|^4}{3} + \frac{q|a_2|}{24} \left| p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q! q^2 - 2[3]_q! q + [2]_q! [3]_q!}{4[2]_q! [3]_q!} p_1^3 \right| \quad (2.1.8)$$

Our next goal will be to set an upper bound for $|a_2|$ and $|a_3|$.

Since $|p_1| \leq 2$ (see Lemma 1.2), from the first equality of (2.1.6) we find

$$|a_2| \leq q. \quad (2.1.9)$$

From the second connection of (2.1.6), we write the following expression for the coefficient a_3 :

$$a_3 = \frac{2}{3} a_2^2 + \frac{q}{12} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right). \quad (2.1.10)$$

Since $([2]_q! - q) / 2[2]_q! = 1/2(1+q) \in [0,1]$ for $q \in (0,1)$, then

$$\left| p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right| \leq 2 \quad (2.1.11)$$

(see Lemma 1.2). Applying the triangle inequality to the equality (2.1.10) and considering inequalities (2.1.9) and (2.1.11) gives us the following

$$|a_3| \leq \frac{(1+4q)q}{6}. \quad (2.1.13)$$

Now let's find an upper bound for $\left| \frac{3}{2}a_2^2 - a_3 \right|$. We are entitled to it from the second equality of (2.1.6)

$$a_3 - \frac{3}{2}a_2^2 = -\frac{5}{6}a_2^2 + \frac{q}{12} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right).$$

Since $\left([2]_q! - q \right) / 2[2]_q! = 1/2(1+q) \in [0,1]$ for $q \in (0,1)$, then we get

$$\left| a_3 - \frac{3}{2}a_2^2 \right| \leq \frac{(1+5q)q}{6} \quad (2.1.14)$$

(see Lemma 1.2).

In addition, given $B = \left([2]_q! - q \right) / 2[2]_q!$ and $D = \left([2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q! \right) / 4[2]_q![3]_q!$ we can write

$$p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!}{4[2]_q![3]_q!} p_1^3 = p_3 - 2Bp_1 p_2 + Dp_1^3.$$

Since $B \in [0,1]$ and $D \leq B$ for every $q \in (0,1)$, and $B(2B-1) \leq D$ for $q \in [0.36959,1)$, then using Lemma 1.3 we get

$$\left| p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1 p_2 + \frac{[2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!}{4[2]_q![3]_q!} p_1^3 \right| \leq 2 \quad (2.1.15)$$

for $q \in [0.36959,1)$.

As a result, from (2.1.8), (2.1.9) and (2.1.13)-(2.1.15) we arrive at the following result:

$$|a_2 a_4 - a_3^2| \leq \frac{(1+9q+20q^2+24q^2+3)q^2}{36}, \quad q \in [0.36959,1).$$

Thus, the proof of theorem is completed.

In the case $q \rightarrow 1^-$ from the Theorem 2.1.1, we have the following result.

Corollary 2.1.1. If $f \in C(e^z)$, then we have

$$|a_2 a_4 - a_3^2| \leq \frac{19}{12}.$$

2.2. The Zalcman and Generalized Zalcman Conjecture

In this subsection, we will examine the Zalcman conjecture for the class $C(e_q^{qz})$.

As we stated in the introduction to our study, Zalcman, in the assumption she defined in 1960, states that every function $f \in S$ satisfies the inequality

$$|a_n^2 - a_{2n-1}| \leq (n-1)^2$$

for $n \in \mathbb{N}_2 = \{2, 3, \dots\}$. Also, in 1999, Ma [25] proved a generalized version of Zalcman conjecture and stated that every function $f \in S$ satisfies the following inequality

$$|a_n a_m - a_{n+m-1}| \leq (n-1)(m-1)$$

for $n, m \in \mathbb{N}_2 = \{2, 3, \dots\}$.

For $n = m = 2$, the above inequalities has the form

$$|a_2^2 - a_3| \leq 1$$

for the univalent function $f \in S$.

Now let's we give the following theorem on the Zalcman conjecture.

Theorem 2.2.1. Let the function f given by series expansions (1.1) belong to the class $f \in C(e_q^{qz})$. Then, we have

$$|a_3 - a_2^2| \leq q.$$

Proof. From the second equality of (2.1.6) can written

$$a_3 - a_2^2 = -\frac{1}{3}a_2^2 + \frac{q}{2} \left(p_2 - \frac{[2]_q! - q}{2[2]_q!} p_1^2 \right).$$

From this equality applying Lemma 1.1, we can write

$$a_3 - a_2^2 = \frac{q}{12(1+q)} \left[(2-q)qp_1^2 + 3(1+q)(4-p_1^2)x \right]$$

for some $x \in \mathbb{D}$ with $|x| \leq 1$. It follows from that

$$|a_3 - a_2^2| \leq \frac{q}{12(1+q)} \left[(2-q)qt^2 + 3(1+q)(4-t^2)\xi \right],$$

where $t = |p_1|$ and $\xi = |x|$. We obtain the right-hand side of this inequality by maximizing it with respect to the variable ξ while keeping the other parameters constant:

$$|a_3 - a_2^2| \leq \frac{q}{12(1+q)} \left[-(q^2 + q + 3)t^2 + 12(1+q) \right], \quad t \in [0, 2].$$

From here, we obtain

$$|a_3 - a_2^2| \leq q.$$

Thus, the proof of theorem is completed.

In the case $q \rightarrow 1^-$ from the Theorem 2.2.1, we have the following result.

Corollary 2.2.1. If $f \in C(e^z)$, then we have

$$|a_3 - a_2^2| \leq 1.$$

Now we give the following theorem on the generalized Zalcman conjecture.

Theorem 2.2.2. Let the function f given by series expansions (1.1) belong to the class $C(e_q^{qz})$. Then, we have

$$|a_2a_3 - a_4| \leq \frac{(12q^2 + 10q + 5)q}{36}.$$

Proof. Let $f \in C(e_q^{qz})$, then from the equality (2.1.7) we can write

$$a_4 - a_2a_3 + 8a_2^3 = \frac{1}{3} \left(\frac{3}{2}a_3 - a_2^2 \right) - \frac{1}{3}a_2^3 + \frac{q}{24} \left(p_3 - \frac{[2]_q! - q}{[2]_q!} p_1p_2 + \frac{[2]_q!q^2 - 2[3]_q!q + [2]_q![3]_q!}{4[2]_q![3]_q!} p_1^3 \right).$$

Applying the triangle inequality to this equality and using inequalities (2.1.9), (2.1.14) and (2.1.15), we arrive at the result of theorem.

When $q \rightarrow 1^-$, from the Theorem 2.2.2 we have the following result.

Corollary 2.2.1. If $f \in C(e^z)$, then we have

$$|a_2a_3 - a_4| \leq \frac{3}{4}.$$

3. Conclusions and Evaluations

This study provides an estimate of an upper bound for the second Hankel determinant of functions belonging to the class defined in the article. Furthermore, the Zalcman conjecture is examined for functions belonging to the class defined in this study.

4. General Evaluation and Conclusions

An upper bound estimate can be found for the fourth coefficient of the function belonging to the class defined in the article. Furthermore, an upper bound estimate can also be given for the third Hankel determinant for the class defined in the study.

References

- [1] Alotaibi, A., Arif, M., Alghamdi, M. A., Hussain, S. Starlikeness associated with cosine hyperbolic function. Mathematics 8, 1118, 2020
- [2] Arif, M., Tang, H., Hussain, S., Khan, H. Hankel determinant of order three for familiar subsets of analytic functions related with sine function. Open Math., 17, 1615-1630. [CrossRef], 2019.
- [3] Bano, K., Raza, M. Starlike functions associated with cosine function. Bull. Iran. Math. Soc.

- 47, 1513-1532, 2020.
- [4] Bieberbach, L. Über die Koeffizienten derjenigen Potenzreihen welche eine schlichte Abbildung des Einheitskreises vermitteln. Sitzungsberichte Preuss. Akad. Der Wiss., 138, 940-955, 1916.
- [5] De Branges, L. A proof of the Bieberbach conjecture. Acta Math. 1985, 154, 137-152, 195.
- [6] Duren, P. L. Univalent Functions. In Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften; Springer: New York, NY, USA; Berlin/Heidelberg, Germany; Tokyo, Japan, Volume 259, 1983.
- [7] Hayman, W. K. On second Hankel determinant of mean univalent functions. Proc. Lond. Math. Soc., 3, 77-94. [CrossRef], 1968.
- [8] Janteng, A., Halim, S. A., Darus, M. Coefficient inequality for a function whose derivative has a positive real part. J. Inequal Pure Appl. Math., 7, 1-5, 2006.
- [9] Janteng, A., Halim, S. A., Darus, M. Hankel determinant for starlike and convex functions. Int. J. Math. Anal., 1, 619-625, 2007.
- [10] Koebe, P. Über die Uniformisierung der algebraischen Kurven, durch automorphe Funktionen mit imaginärer Substitutionsgruppe. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen Math.-Phys., 68-76, 1909.
- [11] Kumar, S. S., Arora, K. Starlike functions associated with a petal shaped domain. ArXiv 2020, arXiv: 2010.10072, 2020.
- [12] Libera, R. J., Zlotkiewicz, E. J. Early coefficients of the inverse of a regular convex function. Proc. Am. Soc. 1982, 85, 225-230. [CrossRef], 1982.
- [13] Ma, W. C., Minda, D. A unified treatment of some special classes of univalent functions. In Proceedings of the Conference on Complex Analysis, Tianjin, China; Li, Z., Ren, F., Yang, L., Zhang, S., Eds.; Conference Proceedings and Lecture Notes in Analysis; International Press: Cambridge, MA, USA, Volume I, 157-169, 1994.
- [14] Ma, W. Generalized Zalcman conjecture for starlike and typically real functions. J. Math. Anal. Appl. 1999, 234, 328-339. [CrossRef], 1999.
- [15] Mendiratta, R., Nagpal, S., Ravichandran, V. On a subclass of strongly starlike functions associated with exponential function. Bull. Malays. Math. Soc., 8, 365-386, 2005.
- [16] Miller, S. S. Differential inequalities and Carathéodory functions. Bull. Am. Math. Soc. 81, 79-81. [CrossRef], 1975.
- [17] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç, A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function. 13th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering and Applied Sciences on April 29-30, 234-241, Istanbul, Turkey, 2023.
- [18] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç, A. The Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function. 13th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering and Applied

Sciences on April 29-30, 242-249, Istanbul, Turkey, 2023.

- [19] Mustafa, N., Nezir, V. Coefficient estimates and Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function. 13th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering and Applied Sciences on May 1-2, 475-481, Istanbul, Turkey, 2023.
- [20] Mustafa, N., Demir, H. A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions with associated with sine and cosine functions. 4th International Black Sea Congress on Modern Scientific Research on June 6-8, 2555-2563, Rize Turkey, 2023.
- [21] Mustafa, N., Demir, H. A. Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine and cosine functions. 4th International Black Sea Congress on Modern Scientific Research on June 6-8, 2564-2572, Rize Turkey, 2023.
- [22] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç, A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function with complex order. Journal of Scientific and Engineering Research, 10(6), 18-25, 2023.
- [23] Mustafa, N., Nezir, V., Kankılıç, A. The Fekete-Szegö problem for certain subclass of analytic and univalent functions associated with sine hyperbolic function with complex order. Eastern Anatolian Journal of Science, 9(1), 1-6, 2023.
- [24] Mustafa, N., Demir, H. A. Coefficient estimates for certain subclass of analytic and univalent functions with associated with sine and cosine functions with complex order. Journal of Scientific and Engineering Research, 10(6), 131-140, 2023.
- [25] Obradovic, M., Tuneski, N. Hankel determinants of second and third order for the class S of univalent functions. arXiv 2019, arXiv:1912.06439, 2019.
- [26] Pommarenke, C. Univalent Function. Vanderhueck and Ruprecht: Göttingen, German, 1975.
- [27] Pommarenke, C. On the Hankel determinants of univalent functions. Mathematika, 14, 108-112, 1967.
- [28] Sokol, J. A certain class of starlike functions. Comput. Math. Appl., 62, 611-619, 2011.
- [29] Ullah, K., Zainab, S., Arif, M., Darus, M., Shutayi, M. Radius Problems for Starlike Functions Associated with the Tan Hyperbolic Function. J. Funct. Spaces, Article ID 9967640, 2021.

**INTERACTIVE TEACHING OF TOPOLOGICAL MANIFOLDS: DYNAMIC 3D
MODELING OF THE KLEIN BOTTLE**
**TOPOLOJİK MANİFOLDLARIN ETKİLEŞİMLİ ÖĞRETİMİ: KLEİN ŞİŞESİNİN
DİNAMİK 3B MODELLEMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU

Ardahan Üniversitesi,

aliturkoglu@ardahan.edu.tr- ORCID: 0000-0001-5958-5056

Prof. Dr. Yasin SOYLU

Atatürk Üniversitesi,

yasinsoylu@gmail.com- ORCID: 0000-0002-2951-0069

Dr. Öğr. Üyesi Arif Cem TOPUZ

Ardahan Üniversitesi,

arifcemtopuz@ardahan.edu.tr- ORCID: 0000-0002-5110-5334

ABSTRACT

This study presents an interactive modeling approach of the Klein bottle within a Matlab-based dynamic simulation environment, grounded in the computer-assisted mathematics framework. The Klein bottle is defined as a parametric surface and visualized in three-dimensional Euclidean space using numerical discretization methods. Due to the fact that non-orientable surfaces cannot be represented in three-dimensional space without self-intersection, a figure-8 immersion approach is employed. The developed Matlab system enables real-time modification and visualization of the surface's parametric structure through interactive sliders and an Auto-Run mechanism. This framework supports a dynamic exploratory learning environment in computer-assisted mathematics education, allowing learners to directly interact with mathematical structures. The findings indicate that dynamic visualization environments facilitate the understanding of abstract topological structures and enhance spatial reasoning skills.

Keywords: Klein Bottle, Topological Manifolds, Interactive Visualization, Matlab, Computer-Assisted Mathematics

ÖZET

Bu çalışma, bilgisayar destekli matematik yaklaşımı temel alınarak Klein şişesinin Matlab tabanlı dinamik bir simülasyon ortamında etkileşimli olarak modellenmesini sunmaktadır. Klein şişesi, parametrik bir yüzey olarak tanımlanmış ve üç boyutlu Öklid uzayında sayısal ayrıklaştırma yöntemleri kullanılarak görselleştirilmiştir. Yönsüz yüzeylerin üç boyutlu uzayda

kendini kesmeden temsil edilememesi nedeniyle figure-8 immersion yaklaşımı kullanılmıştır. Geliştirilen Matlab sistemi, etkileşimli kaydırıcılar ve Auto-Run mekanizması aracılığıyla yüzeyin parametrik yapısının gerçek zamanlı olarak değiştirilmesine ve görsel olarak incelenmesine olanak tanımaktadır. Bu yapı, bilgisayar destekli matematik öğretiminde dinamik keşif ortamı sağlayarak öğrencilerin matematiksel yapılarla etkileşim kurmasını desteklemektedir. Elde edilen bulgular, dinamik görselleştirme ortamlarının soyut topolojik yapıların anlaşılmasını kolaylaştırdığını ve uzamsal akıl yürütme becerilerini geliştirdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Klein Bottle, Topolojik Manifoldlar, Etkileşimli Görselleştirme, Matlab, Bilgisayar Destekli Matematik

1. GİRİŞ

Topoloji, matematiğin nesnelerin şekilsel özelliklerinden ziyade süreklilik, bağlılık ve deformasyon altında değişmeyen yapısal özelliklerini inceleyen bir alt dalıdır. Bu alan içerisinde yer alan topolojik manifold kavramı, yerel olarak Öklid uzayına benzeyen ancak global ölçekte farklı özellikler sergileyebilen yapıları ifade etmektedir. Özellikle yönsüz yüzeyler (non-orientable surfaces), klasik geometrik sezgilerin ötesinde özellikler barındırmakta olup, matematiksel olarak önemli bir inceleme alanı oluşturmaktadır. Bu bağlamda Klein şişesi, sınırı olmayan ve yönlendirilemeyen bir yüzey olarak topolojide temel örneklerden biri olarak ele alınmaktadır (Hatcher, 2002).

Klein şişesi, üç boyutlu Öklid uzayında kendini kesen bir yapı olarak temsil edilmek zorunda olup, bu durum onun doğrudan fiziksel olarak modellenmesini imkânsız kılmaktadır. Bu yüzeyin doğru matematiksel tanımı, ancak dört boyutlu uzayda kendi kendini kesmeden ifade edilebilmektedir. Bu nedenle Klein şişesi, topolojik özelliklerin anlaşılmasında hem teorik hem de görselleştirme açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir (Weeks, 2020). Parametrik yüzey tanımları aracılığıyla bu tür yapıların sayısal olarak modellenmesi, matematiksel doğruluğun korunması açısından temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir.

Matematik eğitiminde soyut kavramların öğretimi, öğrencilerin bilişsel süreçleri açısından önemli zorluklar içermektedir. Özellikle çok boyutlu ve görselleştirilmesi güç olan yapılar, geleneksel öğretim yöntemleriyle sınırlı düzeyde kavranabilmektedir. Statik görseller ve iki boyutlu temsiller, topolojik yapıların dinamik doğasını yansıtmakta yetersiz kalmaktadır. Bu durum, matematiksel kavramların daha etkili öğretimi için alternatif yaklaşımların geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Tall, 1996).

Bilgisayar destekli matematik öğretimi, soyut matematiksel yapıların dinamik ve etkileşimli biçimde temsil edilmesine olanak tanıyan önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Özellikle üç boyutlu modelleme teknikleri, öğrencilerin uzamsal düşünme becerilerini geliştirmede ve karmaşık matematiksel yapıları anlamlandırmada etkili bir rol oynamaktadır. Parametrik yüzeylerin bilgisayar ortamında görselleştirilmesi, matematiksel nesnelerin farklı açılardan incelenmesine ve kullanıcı etkileşimi ile keşfedilmesine imkân sağlamaktadır (Borwein & Bailey, 2004).

Etkileşimli öğrenme ortamları, öğrencilerin öğrenme sürecine aktif katılımını teşvik ederek kavramsal öğrenmeyi desteklemektedir. Kullanıcı kontrollü sistemler, parametrelerin değiştirilmesine ve sonuçların anlık olarak gözlemlenmesine olanak tanıyarak öğrenmeyi keşif temelli bir sürece dönüştürmektedir. Bu tür ortamlar, özellikle karmaşık matematiksel yapıların anlaşılmasında önemli bir avantaj sağlamaktadır (Jonassen, 1999). Dinamik görselleştirme araçları, öğrencilerin zihinsel modeller oluşturmalarını kolaylaştırmakta ve öğrenme sürecinde bilişsel yükün yönetilmesine katkıda bulunmaktadır. Parametrik yüzeylerin sayısal olarak modellenmesi sürecinde, hesaplama doğruluğu ve sayısal kararlılık önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek çözünürlüklü ağ yapıları (mesh grid) ve uygun algoritmik yaklaşımlar, yüzeyin sürekliliğini ve doğruluğunu sağlamada kritik öneme sahiptir. Sayısal analiz literatüründe, özellikle yüzey üretimi ve görselleştirme süreçlerinde kararlılık ve hata kontrolü temel araştırma konuları arasında yer almaktadır (Trefethen, 2000; Higham & Higham, 2016).

Bu bağlamda, Klein şişesi gibi karmaşık topolojik yapıların parametrik denklemler aracılığıyla modellenmesi ve etkileşimli bir ortamda görselleştirilmesi hem matematiksel doğruluk hem de pedagojik etkinlik açısından önemli bir yaklaşım sunmaktadır. Dinamik modelleme teknikleri, yüzeyin zamana bağlı olarak incelenmesine ve farklı parametre değerleri altında davranışının gözlemlenmesine olanak tanımaktadır. Bu tür yaklaşımlar, matematiksel yapıların yalnızca teorik düzeyde değil, aynı zamanda deneyimsel olarak da anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Topolojik yapıların bilgisayar ortamında modellenmesi sürecinde, parametrik denklemler temel bir araç olarak kullanılmaktadır. Klein şişesi gibi yönsüz yüzeyler, genellikle iki parametrelili fonksiyonlar aracılığıyla tanımlanmakta ve bu tanımlar sayısal ortamlarda yüzey üretimine olanak sağlamaktadır. Parametrik temsil, yüzeyin her bir noktasının koordinat düzleminde açık biçimde ifade edilmesini mümkün kılarak hem analitik hem de sayısal incelemeler için uygun bir zemin sunmaktadır (Gray, 1997).

Üç boyutlu modelleme süreçlerinde karşılaşılan önemli problemlerden biri, yüzeyin kendini kesmesi (self-intersection) ve bu durumun görselleştirme üzerindeki etkileridir. Klein şişesi, üç boyutlu uzayda zorunlu olarak kendini kesen bir yapı olduğundan, bu kesişimlerin doğru biçimde temsil edilmesi modelin doğruluğu açısından kritik bir öneme sahiptir. Sayısal modelleme sürecinde kullanılan algoritmaların, yüzey sürekliliğini koruyacak ve görsel bozulmaları en aza indirecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu tür problemler, hesaplamalı geometri ve görselleştirme alanında önemli bir araştırma konusu olarak ele alınmaktadır (Foley et al., 1996).

Dinamik görselleştirme yaklaşımları, matematiksel nesnelerin zamana bağlı değişimlerinin incelenmesine olanak tanıyarak statik temsillerin ötesine geçmektedir. Özellikle otomatik çalıştırma (Auto-Run) mekanizmaları, parametrik yüzeylerin sürekli dönüşümünü sağlayarak kullanıcı müdahalesi olmaksızın yapının farklı durumlarının gözlemlenmesine imkân tanımaktadır. Bu tür dinamik sistemler, yüzeyin global özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamakta ve kullanıcıların matematiksel yapıyı süreç içerisinde değerlendirmesine olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, bilgisayar destekli matematik öğretiminde etkileşim ve görselleştirmenin bütünleşik kullanımına dayanmaktadır (Borwein & Bailey, 2004).

2. AMAÇ

Bu çalışmanın temel amacı, Klein şişesi gibi yönsüz (non-orientable) topolojik manifoldların öğretiminde karşılaşılan soyutlama güçlüklerini azaltmak ve bu yapıların bilgisayar destekli dinamik bir modelleme ortamında etkileşimli olarak temsil edilmesini sağlamaktır. Bu kapsamda, Klein şişesinin parametrik yüzey tanımı esas alınarak Matlab ortamında üç boyutlu bir görselleştirme modeli geliştirilmiş ve bu model üzerinden geometrik yapının davranışı incelenmiştir. Çalışma, klasik öğretim ortamlarında çoğunlukla statik görseller ve iki boyutlu temsillerle açıklanan topolojik kavramların, dinamik ve kullanıcı etkileşimine açık bir yapı üzerinden daha etkili biçimde anlaşılabilmesi varsayımına dayanmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen modelde, yüzeyin parametrik yapısı sayısal olarak oluşturulmuş ve kullanıcı kontrolüne bağlı olarak değiştirilebilir bir görselleştirme sistemi tasarlanmıştır.

Araştırmanın bir diğer amacı, “Auto-Run” algoritması aracılığıyla Klein şişesinin sürekli dönüşümünü sağlayarak, öğrencilerin yüzeyin global geometrik özelliklerini zaman boyutunda gözlemleyebilmesine imkân tanımadır. Bu yaklaşım, statik matematiksel temsillerin ötesine geçerek, yapının dinamik olarak keşfedilmesini mümkün kılmaktadır. Buna ek olarak çalışma, etkileşimli modelleme ortamlarının matematik eğitiminde bilişsel yükü azaltma ve uzamsal düşünme becerilerini geliştirme potansiyelini incelemeyi amaçlamaktadır. Kullanıcının parametreleri doğrudan değiştirebildiği bir yapı sayesinde, matematiksel nesnelerin soyut tanımları ile görsel temsilleri arasındaki ilişki daha somut bir şekilde kurulabilmektedir.

Son olarak bu çalışma, bilgisayar destekli matematik öğretimi bağlamında Klein şişesi örneği üzerinden geliştirilen dinamik modelleme yaklaşımının, topolojik yapıların öğretiminde alternatif bir pedagojik araç olarak kullanılabilirliğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu yönüyle çalışma, matematiksel kavramların yalnızca teorik düzeyde değil, aynı zamanda etkileşimli hesaplamalı ortamlar üzerinden deneyimlenebilir hale getirilmesine katkı sunmayı hedeflemektedir.

3. ÖNEM

Bu çalışmanın temel önemi, Klein şişesi gibi yönsüz topolojik manifoldların soyut yapısının, bilgisayar destekli dinamik bir modelleme ortamı aracılığıyla görselleştirilebilir ve etkileşimli bir forma dönüştürülmesinde yatmaktadır. Topolojik yapıların doğası gereği yüksek düzeyde soyutlama içermesi, özellikle üç boyutlu temsillerde kendini kesme (self-intersection) gibi zorunlu özelliklerin ortaya çıkmasına neden olmakta ve bu durum geleneksel öğretim yaklaşımlarında kavramsal anlamayı güçleştirmektedir (Hatcher, 2002; Weeks, 2020). Bu bağlamda geliştirilen model, parametrik yüzey temsilleri üzerinden sayısal üretim sağlayarak, topolojik özelliklerin daha sezgisel biçimde anlaşılmasına katkı sunmaktadır. Özellikle görselleştirmenin matematiksel kavrayışı destekleyen bir araç olduğu vurgusu, diferansiyel geometri ve sayısal modelleme literatüründe de yer almaktadır (Gray, 1997).

Çalışmanın bir diğer önemli yönü, bilgisayar destekli matematik öğretimi ile etkileşimli görselleştirme yaklaşımlarını birleştirerek öğrenme süreçlerine katkı sağlamasıdır. Dinamik modelleme ortamlarının, öğrencilerin soyut matematiksel yapıları keşfetmelerine imkân tanıdığı ve bu süreçte bilişsel yükü azaltarak kavramsal öğrenmeyi desteklediği ifade edilmektedir (Tall, 1996; Jonassen, 1999). Özellikle parametrik yüzeylerin gerçek zamanlı olarak manipüle edilmesi, öğrencilerin uzamsal düşünme becerilerini geliştirmekte ve

matematiksel yapıların global özelliklerini daha iyi kavramalarına olanak sağlamaktadır. Ayrıca sayısal modelleme süreçlerinde kararlılık ve doğruluk gibi faktörlerin önemine dikkat çeken çalışmalar, bu tür sistemlerin yalnızca pedagojik değil aynı zamanda hesaplamalı açıdan da güçlü temellere dayanması gerektiğini ortaya koymaktadır (Trefethen, 2000; Higham & Higham, 2016).

4. YÖNTEM VE "AUTO-RUN" MEKANİZMASI

Bu çalışmada Klein şişesinin üç boyutlu uzayda görselleştirilmesi, parametrik yüzey temsiline dayalı sayısal bir modelleme yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir. Klein şişesi, topolojik olarak yönsüz (non-orientable) bir yüzey olup, üç boyutlu Öklid uzayında kendini kesmeden temsil edilememesi nedeniyle matematiksel olarak dört boyutlu bir uzayda tanımlanabilmektedir (Hatcher, 2002; Weeks, 2020). Bu nedenle çalışma kapsamında yüzeyin doğrudan fiziksel temsili yerine, parametrik bir yüzey fonksiyonu üzerinden sayısal üretim yapılmıştır.

Klein şişesinin parametrik gösterimi literatürde farklı biçimlerde verilmekle birlikte, genel olarak iki parametreye bağlı bir yüzey fonksiyonu $(u, v) \rightarrow \mathbb{R}^3$ şeklinde tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımda yüzey, sürekli bir manifoldun ayrıklaştırılmış bir temsili olarak ele alınmakta ve sayısal grid yapısı üzerinde hesaplanmaktadır (Gray, 1997). Bu sayede yüzeyin her bir noktası, parametrik uzaydan Kartezyen uzaya dönüşüm yoluyla elde edilmektedir. Sayısal modelleme sürecinde çalışma uzayı, uniform bir grid yapısı kullanılarak ayrıklaştırılmış ve yüzey noktaları matris formunda hesaplanmıştır. Bu yaklaşım, hesaplamalı geometri ve sayısal analiz literatüründe yaygın olarak kullanılan mesh tabanlı temsil yöntemlerine dayanmaktadır. Özellikle yüzey sürekliliğinin korunması ve sayısal stabilitenin sağlanması açısından düzgün aralıklı grid yapılarının tercih edilmesi önemlidir (Trefethen, 2000).

Modelin görselleştirme aşamasında, yüzeyin dinamik olarak incelenebilmesi amacıyla parametrik değişkenlere bağlı bir güncelleme mekanizması tanımlanmıştır. Bu mekanizma, kullanıcı etkileşimi ile yüzeyin farklı durumlarının gerçek zamanlı olarak hesaplanmasını ve görüntülenmesini sağlamaktadır. Etkileşimli sistemlerin matematiksel nesnelerin anlaşılmasına katkı sunduğu ve keşif temelli öğrenmeyi desteklediği literatürde vurgulanmaktadır (Jonassen, 1999).

Bununla birlikte, yüzeyin üç boyutlu uzayda kendini kesmesi problemi (self-intersection), modelin geometrik doğruluğu açısından önemli bir sayısal zorluk oluşturmaktadır. Klein şişesinin doğası gereği bu kesişim kaçınılmaz olmakla birlikte, görselleştirme algoritmalarının yüzey sürekliliğini bozmadan bu yapıyı temsil etmesi gerekmektedir. Bu tür problemler, hesaplamalı geometri ve görselleştirme teknikleri kapsamında ele alınmakta olup, sayısal kararlılık açısından dikkatli algoritmik tasarım gerektirmektedir (Foley et al., 1996).

Son olarak, geliştirilen modelde kullanılan sayısal yöntemler, yüksek çözünürlüklü grid yapıları ve vektörize hesaplama tekniklerine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, yüzeyin hızlı ve kararlı bir şekilde hesaplanmasını sağlayarak gerçek zamanlı görselleştirmeyi mümkün kılmaktadır. Sayısal analiz literatüründe vurgulandığı üzere, bu tür problemler için hem hesaplama verimliliği hem de sayısal doğruluk temel performans kriterleri arasında yer almaktadır (Higham & Higham, 2016).

4.1. UYGULAMA AŞAMALARI

Bu çalışmada Klein şişesinin üç boyutlu parametrik temsili, Matlab ortamında geliştirilen etkileşimli bir görselleştirme sistemi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Uygulama süreci, topolojik yüzeyin parametrik olarak tanımlanması, sayısal örnekleme ile ayrıklaştırılması ve kullanıcı etkileşimli dinamik kontrol mekanizmalarının entegre edilmesi aşamalarından oluşmaktadır.

4.2. Görselleştirme Ortamının Oluşturulması

İlk aşamada, Klein şişesinin üç boyutlu görselleştirilmesi için Matlab ortamında bir sahne yapısı oluşturulmuştur. Bu sahnede üç boyutlu eksen sistemi tanımlanmış, görsel arka plan karanlık (black background) olarak seçilmiş ve uzay-zaman benzeri bir görsel kontrast oluşturulmuştur. Ayrıca eksenlerin görünürlüğü artırılarak yüzeyin uzamsal konumu net biçimde analiz edilebilir hale getirilmiştir.

4.3. Parametrik Yüzeyin Tanımlanması

İkinci aşamada Klein şişesi, iki parametreye bağlı bir yüzey fonksiyonu ile tanımlanmıştır. Bu parametrik yapı, Klein şişesinin “figure-8 immersion” temsiline dayanmaktadır. Yüzey şu parametrik dönüşümler ile oluşturulmuştur:

4.3.1. $X(u,v)$, $Y(u,v)$, $Z(u,v)$ fonksiyonları kullanılarak üç boyutlu uzayda embedding sağlanmıştır.

4.3.2. u ve v parametreleri yüzeyin global ve yerel geometrik değişimlerini temsil edecek şekilde tanımlanmıştır.

Bu yaklaşım, yönsüz manifoldların üç boyutlu uzayda kaçınılmaz kendini-kesme (self-intersection) özelliğini matematiksel olarak koruyarak görselleştirilmesine imkân tanımaktadır.

4.4. Sayısal Ayrıklaştırma (Meshgrid Yapısı)

Üçüncü aşamada yüzey, uniform bir sayısal grid yapısı kullanılarak ayrıklaştırılmıştır. u ve v parametre uzayları belirli aralıklarla örneklenmiş ve meshgrid yapısı ile iki boyutlu parametre uzayı oluşturulmuştur.

Bu ayrıklaştırma süreci, sürekli bir manifoldun sonlu sayıda nokta ile temsil edilmesini sağlayarak sayısal hesaplama ve görselleştirme işlemlerinin uygulanabilirliğini artırmıştır.

4.5. Etkileşimli Kontrol Mekanizması (Slider Yapısı)

Dördüncü aşamada kullanıcı etkileşimini sağlamak amacıyla iki adet parametrik kontrol kaydırıcısı (slider) tanımlanmıştır:

4.5.1. U açısı (Yapısal İnşa Parametresi): Yüzeyin global geometrik yayılımını kontrol etmektedir.

4.5.2. V açısı (Kesit/Dilim Parametresi): Yüzeyin lokal geometrik detaylarını belirlemektedir. Bu yapı sayesinde kullanıcı, Klein şişesinin hem global formunu hem de lokal kesit davranışını gerçek zamanlı olarak değiştirebilmektedir. Bu yaklaşım, etkileşimli matematiksel modelleme literatüründe keşif temelli öğrenmeyi destekleyen önemli bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

4.6. Dinamik Yüzey Güncelleme Mekanizması

Beşinci aşamada, slider değerlerine bağlı olarak yüzeyin dinamik olarak yeniden hesaplanmasını sağlayan callback tabanlı bir güncelleme algoritması uygulanmıştır. u ve v parametrelerinin değişimi ile birlikte X , Y ve Z koordinatları gerçek zamanlı olarak yeniden hesaplanmış ve yüzey sürekli olarak güncellenmiştir.

Bu yapı, statik matematiksel temsillerin aksine, topolojik yapının zamana bağlı olarak etkileşimli biçimde incelenmesine olanak tanımaktadır.

4.7. Yüzeyin Görselleştirilmesi ve Spektral Renk Kodlama

Altıncı aşamada, elde edilen yüzey Matlab surf fonksiyonu kullanılarak üç boyutlu ortamda görselleştirilmiştir. Yüzeyin görsel okunabilirliğini artırmak amacıyla renk yoğunluğu, noktasal uzaklığa bağlı olarak tanımlanmıştır:

4.7.1. Her bir noktanın orijine uzaklığı hesaplanarak skaler bir alan oluşturulmuştur.

4.7.2. Bu skaler alan, yüzey üzerinde renk değişimi (CData) olarak kodlanmıştır.

Ayrıca Phong aydınlatma modeli ve ışık kaynakları kullanılarak yüzeye hacimsel bir derinlik kazandırılmıştır.

4.8. Dinamik Parametrik Analiz ve Auto-Run Mantığı

Son aşamada sistem, kullanıcı müdahalesine bağlı dinamik analiz yapısına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Parametre değişimleri anlık olarak yüzeye yansıtılarak Klein şişesinin farklı geometrik durumları gözlemlenebilir hale getirilmiştir.

Bu yaklaşım, parametrik yüzeylerin sadece statik bir nesne olarak değil, dinamik olarak evrilen matematiksel yapılar olarak ele alınmasını sağlamaktadır. Böylece topolojik analiz, görsel ve etkileşimli bir hesaplamalı ortama taşınmıştır.

4.9. Teknik Uygulama Kodu

```
function topoloji_uzman_gezgin()
    % 1. Sahne Hazırlığı
    fig = figure('Name', 'Topolojik Yapı Analizi: Klein Şişesi', 'Color', [0 0 0], 'Position', [100
    100 1100 850]);
    ax = axes('Parent', fig, 'Position', [0.1 0.25 0.8 0.7], 'Color', 'none', 'XColor', 'w', 'YColor',
    'w', 'ZColor', 'w');
    hold(ax, 'on'); view(ax, [145 25]); axis(ax, 'equal'); axis tight; grid on;
    % 2. Hareket Çubukları (Sliderlar)
    % Slider 1: İnşa (Yayılm)
    uicontrol('Style', 'text', 'Position', [200 100 200 20], 'String', 'Yapısal İnşa (U açısı)',
    'ForegroundColor', 'w', 'BackgroundColor', 'none');
    sld_u = uicontrol('Style', 'slider', 'Min', 0.1*pi, 'Max', 2*pi, 'Value', 2*pi, 'Position', [400
    100 300 20]);
```


% Slider 2: Kesit Alma (İç Yapı Analizi)

```
uicontrol('Style','text','Position',[200 60 200 20], 'String', 'Kesit/Dilim (V açısı)',  
'ForegroundColor','w','BackgroundColor','none');
```

```
sld_v = uicontrol('Style','slider','Min', 0.1*pi, 'Max', 2*pi, 'Value', 2*pi, 'Position', [400 60  
300 20]);
```

% İlk Yüzey Objesi

```
h_surf = surf(ax, [0 0; 0 0], 'EdgeColor','w', 'EdgeAlpha', 0.1, 'FaceColor','interp');
```

```
colormap(ax, 'cool');
```

```
camlight; lighting phong; material shiny;
```

% Callback Fonksiyonu

```
sld_u.Callback = @(~,~) guncelle();
```

```
sld_v.Callback = @(~,~) guncelle();
```

```
guncelle();
```

```
function guncelle()
```

```
U_max = sld_u.Value;
```

```
V_max = sld_v.Value;
```

```
[u, v] = meshgrid(linspace(0, U_max, 80), linspace(0, V_max, 80));
```

% Klein Bottle "Figure-8" Immersion Equations

% Bu formül, şişenin kendi içinden pürüzsüzce geçişini sağlar

```
X = (2 + cos(u/2).*sin(v) - sin(u/2).*sin(2*v)) .* cos(u);
```

```
Y = (2 + cos(u/2).*sin(v) - sin(u/2).*sin(2*v)) .* sin(u);
```

```
Z = sin(u/2).*sin(v) + cos(u/2).*sin(2*v);
```

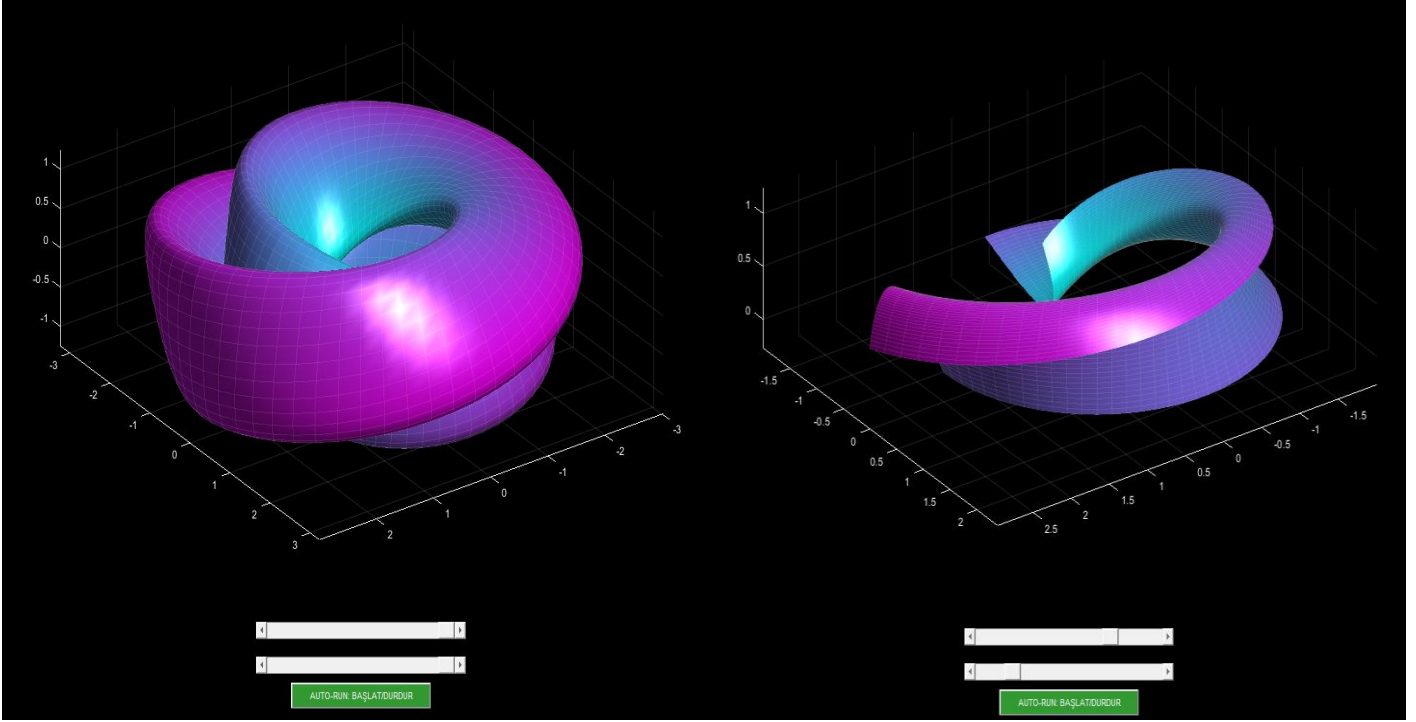
% Görsel Güncelleme

```
h_surf.XData = X; h_surf.YData = Y; h_surf.ZData = Z;
```

```
h_surf.CData = sqrt(X.^2 + Y.^2 + Z.^2); % Merkeze uzaklığa göre renk ver
```

```
title(ax, 'Klein Şişesi: İç Yapı ve Yüzey Analizi', 'Color', 'w', 'FontSize', 16);
```

```
end end
```



Görsel 1. Klein Şişesi Yüzeyinin Üç Boyutlu Görselleştirilmesi

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada Klein şişesinin üç boyutlu etkileşimli bir modelleme ortamında görselleştirilmesi, topolojik yapıların öğretiminde kullanılan geleneksel statik temsil yaklaşımlarına alternatif bir yöntem olarak ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, parametrik yüzeylerin dinamik olarak manipüle edilmesinin, öğrencilerin soyut matematiksel kavramları daha bütüncül bir şekilde anlamalarına katkı sağladığını göstermektedir. Bu durum, topolojik yapıların yalnızca analitik düzeyde değil, aynı zamanda görsel ve etkileşimli ortamlar aracılığıyla da öğrenilebileceği görüşünü desteklemektedir (Tall, 1996; Jonassen, 1999).

Etkileşimli slider mekanizmaları ve Auto-Run tabanlı dinamik güncelleme sistemi, öğrencilerin yüzeyin global ve lokal özelliklerini eş zamanlı olarak gözlemlemesine olanak tanımaktadır. Bu tür dinamik görselleştirme araçlarının, özellikle uzamsal düşünme becerilerini geliştirdiği ve bilişsel yükü azalttığı literatürde vurgulanmaktadır. Bu bağlamda çalışma, matematiksel nesnelerin keşif temelli öğrenme yaklaşımıyla daha etkili şekilde öğretilbileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, Klein şişesinin üç boyutlu uzayda zorunlu olarak kendini kesen (self-intersecting) yapısı, görselleştirme sürecinde geometrik yorumlama açısından bazı sınırlılıklar oluşturmaktadır. Bu durum, yüzeyin gerçek topolojik yapısı ile görsel temsili arasında doğal bir farklılık doğurmakta ve öğrencilerin bu farkı doğru şekilde yorumlamasını gerektirmektedir. Benzer sorunların hesaplamalı geometri ve görselleştirme literatüründe de önemli bir araştırma alanı olduğu görülmektedir (Foley et al., 1996).

Sayısal modelleme açısından değerlendirildiğinde, parametrik yüzeyin meshgrid yapısı üzerinden ayrıklaştırılması ve gerçek zamanlı güncellenmesi, sistemin hesaplama verimliliği

açısından başarılı sonuçlar vermiştir. Ancak yüksek çözünürlüklü grid yapılarında işlem maliyetinin artması, gerçek zamanlı uygulamalarda optimizasyon ihtiyacını ortaya koymaktadır. Sayısal analiz literatüründe bu tür problemler, özellikle hesaplama kararlılığı ve performans dengesi açısından kritik bir konu olarak ele alınmaktadır (Trefethen, 2000; Higham & Higham, 2016).

Genel olarak elde edilen sonuçlar, bilgisayar destekli etkileşimli modelleme yaklaşımlarının soyut matematiksel yapıların öğretiminde etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Bu durum, matematik eğitiminin yalnızca teorik anlatım üzerinden değil, aynı zamanda hesaplamalı ve görsel araçlarla desteklenen çok modlu öğrenme ortamlarıyla daha etkili hale getirilebileceğini ortaya koymaktadır.

6. SONUÇ

Bu çalışma, Klein şişesi gibi yönsüz topolojik manifoldların bilgisayar destekli etkileşimli bir ortamda modellenmesi ve görselleştirilmesi yoluyla matematik eğitime katkı sunmayı amaçlamıştır. Matlab tabanlı geliştirilen sistem, parametrik yüzey tanımı ve dinamik kontrol mekanizmaları aracılığıyla, soyut topolojik yapıların somut ve gözlemlenebilir hale getirilmesini sağlamıştır. Elde edilen bulgular, etkileşimli görselleştirme araçlarının öğrencilerin kavramsal anlamalarını güçlendirdiğini ve matematiksel yapıların global özelliklerini daha iyi kavramalarına katkı sağladığını göstermektedir. Özellikle Auto-Run mekanizması ve kullanıcı kontrollü parametre değişimleri, öğrenme sürecini pasif bir bilgi aktarımından aktif bir keşif sürecine dönüştürmektedir.

Bu yönüyle çalışma, bilgisayar destekli matematik öğretimi alanında Klein şişesi örneği üzerinden geliştirilen modelin, topolojik kavramların öğretiminde alternatif bir pedagojik araç olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca sayısal modelleme ve görselleştirme tekniklerinin entegrasyonu, matematiksel yapıların daha sezgisel ve erişilebilir hale gelmesini sağlamaktadır. Gelecek çalışmalarda, bu tür etkileşimli sistemlerin farklı topolojik yüzeylere (örneğin Möbius şeridi, torus vb.) uygulanması ve öğrenci öğrenme çıktıları üzerindeki etkilerinin deneysel olarak karşılaştırılması önerilmektedir. Bu sayede bilgisayar destekli matematik öğretimi alanında daha kapsamlı ve genellenebilir sonuçlara ulaşılması mümkün olacaktır.

KAYNAKÇA

Borwein, J. M., & Bailey, D. H. (2004). *Mathematics by experiment: Plausible reasoning in the 21st century*. A K Peters.

Foley, J. D., van Dam, A., Feiner, S. K., & Hughes, J. F. (1996). *Computer graphics: Principles and practice* (2nd ed.). Addison-Wesley.

Gray, A. (1997). *Modern differential geometry of curves and surfaces with Mathematica* (2nd ed.). CRC Press.

Hatcher, A. (2002). *Algebraic topology*. Cambridge University Press.

Higham, D. J., & Higham, N. J. (2016). *MATLAB guide* (3rd ed.). SIAM.

Jonassen, D. H., Peck, K. L., & Wilson, B. G. (1999). *Learning with technology: A constructivist perspective*. Prentice Hall.

Tall, D. (1996). *Advanced mathematical thinking*. Kluwer Academic Publishers.

Weeks, J. R. (2020). *The shape of space* (2nd ed.). CRC Press.

**COMPUTATIONAL TOPOLOGICAL MODELING AND DYNAMIC
VISUALIZATION OF MULTIVALUED FUNCTIONS VIA RIEMANN SURFACES
RIEMANN YÜZEYLERİ ARACILIĞIYLA ÇOK DEĞERLİ FONKSİYONLARIN
HESAPLAMALI TOPOLOJİK MODELLEMESİ VE DİNAMİK
GÖRSELLEŞTİRİLMESİ**

Dr. Öğr. Üyesi Ali TÜRKOĞLU

Ardahan Üniversitesi,

aliturkoglu@ardahan.edu.tr- ORCID: 0000-0001-5958-5056

Prof. Dr. Yasin SOYLU

Atatürk Üniversitesi,

yasinsoylu@gmail.com- ORCID: 0000-0002-2951-0069

Dr. Öğr. Üyesi Arif Cem TOPUZ

Ardahan Üniversitesi,

arifcemtopuz@ardahan.edu.tr- ORCID: 0000-0002-5110-5334

ABSTRACT

This study presents an interactive approach for modeling the topological structure of multivalued functions through Riemann surfaces in complex analysis education. Students often encounter conceptual difficulties in understanding the geometric and topological properties of multivalued functions, particularly the complex square root function. To reduce these difficulties and make abstract mathematical structures more accessible, a dynamic learning object was developed in the Matlab environment. The proposed model constructs a two-sheeted Riemann surface using parametric equations defined in polar coordinates. The system enables users to navigate between different sheets of the surface and interactively explore its structural characteristics. Through real-time sliders and automated animation features, branch points, analytic continuity, and the behavior of multivalued functions can be dynamically visualized within a three-dimensional environment. This approach strengthens the connection between abstract algebraic expressions and geometric intuition while supporting the visual and spatial exploration of complex analysis concepts. The results indicate that dynamic three-dimensional visualizations can facilitate the understanding of complex mathematical structures, reduce cognitive load, and help learners interpret abstract mathematical objects in a more concrete and intuitive manner.

Keywords: Riemann Surfaces, Multivalued Functions, Matlab Modeling, Topological Manifolds, Dynamic Learning Objects

ÖZET

Bu çalışma, karmaşık analiz eğitiminde çok değerli fonksiyonların topolojik yapısının Riemann yüzeyleri aracılığıyla modellenmesine yönelik etkileşimli bir yaklaşım sunmaktadır. Öğrenciler, özellikle karmaşık karekök gibi çok değerli fonksiyonların geometrik ve topolojik özelliklerini anlamada çeşitli kavramsal güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bu güçlükleri azaltmak ve soyut matematiksel yapıları daha anlaşılır hâle getirmek amacıyla Matlab ortamında dinamik bir öğrenme nesnesi geliştirilmiştir. Geliştirilen model, kutupsal koordinatlarda tanımlanan parametrik denklemler kullanılarak iki yapraklı bir Riemann yüzeyi oluşturmaktadır. Sistem, kullanıcıların farklı yüzey katmanları arasında geçiş yapmasına ve yüzeyin yapısal özelliklerini etkileşimli olarak incelemesine olanak sağlamaktadır. Gerçek zamanlı hareket çubukları (slider) ve otomatik animasyon özellikleri sayesinde dallanma noktaları, analitik süreklilik ve çok değerli fonksiyonların davranışları üç boyutlu ortamda dinamik olarak görselleştirilmektedir. Bu yaklaşım, soyut cebirsel ifadeler ile geometrik sezgi arasındaki ilişkiyi güçlendirerek karmaşık analiz kavramlarının görsel ve uzamsal olarak keşfedilmesini desteklemektedir. Elde edilen sonuçlar, dinamik üç boyutlu görselleştirmelerin karmaşık matematiksel yapıların anlaşılmasını kolaylaştırdığını, bilişsel yükü azaltabildiğini ve öğrenenlerin soyut matematiksel nesneleri daha somut biçimde yorumlamalarına katkı sağladığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Riemann Yüzeyleri, Çok Değerli Fonksiyonlar, Matlab Modelleme, Topolojik Manifoldlar, Dinamik Öğrenme Nesneleri

1. GİRİŞ

Karmaşık analiz pedagojisi, tarihsel gelişim süreci boyunca cebirsel hesaplama metodolojileri ile geometrik temsil paradigmaları arasında bir denge kurma arayışında olmuştur. Klasik öğretim yaklaşımları ağırlıklı olarak analitik süreçlere ve cebirsel manipülasyonlara odaklanma eğilimi gösterse de Needham (1997) tarafından vurgulandığı üzere, karmaşık analizin asıl aksiyomatik gücü ve sezgisel derinliği görsel akıl yürütme (visual reasoning) yetisinde gizlidir. Bu doğrultuda Wegert (2012), görselleştirme tekniklerinin yalnızca yardımcı bir illüstrasyon aracı değil; aksine fonksiyonun global davranış biçimini ve topolojik özelliklerini çözümlemek için analitik bir gereklilik olduğunu savunarak, topolojik modellerin soyut matematiksel kavramları somutlaştırmadaki öncül rolüne dikkat çekmiştir. Bu kavramsal çerçevede, modern hesaplamalı araçlar ve dinamik yazılımlar; statik teorik birikimi, etkileşimli ve dijital birer "keşif uzayına" dönüştürme potansiyeli taşımaktadır.

Öğrencilerin karşılaştığı en temel engel olan çok değerli fonksiyonlar (multivalued functions) problemi, statik düzlemlerde çözilemeyen bir kavramsal tikanıklığa yol açmaktadır. Stewart ve Tall (2018), kök alma gibi işlemlerde ortaya çıkan "tek girdi-çok çıktı" ikileminin, standart fonksiyon tanımını zorladığını belirtir. Beardon (1991), bu karmaşayı aşmak için cebirsel yapıların geometrik bir düzlemde yeniden tanımlanması gerektiğini savunurken; Hansen (2015), simülasyonların bu çok katmanlı yapıyı fiziksel bir gerçeklik gibi sunarak öğrencideki "fonksiyon kargaşasını" giderdiğini vurgular.

Bu geometrik yapıların zirvesi olan Riemann Yüzeyleri, Jost (2006) tarafından matematiğin yapısal şaheserleri olarak tanımlanır. Jost'un topolojik yaklaşımına göre, bu yüzeyler çok değerli bir fonksiyonu pürüzsüz bir manifold üzerinde tek değerli hale getiren kompakt tasarımlardır. Wegert (2012) ise, bu yüzeylerin dijital ortamda faz portreleri ve renk haritalarıyla işlenmesinin, fonksiyonun analitik yapısını ve yapraklar (sheets) arasındaki geçişleri netleştirdiğini ifade eder. Bu durum, matematiksel nesnenin topolojik bütünlüğünü kavramak için vazgeçilmez bir aşamadır.

Ablowitz ve Fokas (2003), bu yüzeylerin analizinde dallanma noktaları ve kesiklerinin (branch cuts) titizlikle ele alınması gerektiğini savunur. Geleneksel eğitimdeki "dal kesimi" yöntemi, aslında sonsuz bir yüzeyi keyfi olarak kesmekte ve sürekliliği bozmaktadır. Krantz (2000), modern görsel araçların bu kesiklerin yapaylığını göstererek yüzeyin bütünsel topolojisini ortaya koyduğunu belirtir. Katmanlar arasındaki geçişleri dinamik olarak izlemek, öğrencinin analitik süreklilik kavramını içselleştirmesini sağlar.

Topolojik açıdan Riemann yüzeyleri, karmaşık fonksiyonların belirli bir "cins" (genus) ve delik sayısına sahip manifoldlar olduğunu gösterir. Jost (2006) ile Stewart ve Tall (2018), bu manifoldların 3D izdüşümlerinin, öğrencilere Öklid dışı geometriyi anlama konusunda bir laboratuvar sunduğunu vurgular. Yüzeylerin kendi içinden geçtiği bölgeler, aslında yüksek boyutlu karmaşık uzayın fiziksel uzaya düşen zorunlu izdüşümleridir. Bu bakış açısı, karmaşık analizi bir hesaplama yığınınından çıkarıp, bir "uzay mimarisine" dönüştürür.

Teknolojinin sunduğu imkanlar, özellikle Matlab gibi araçlar, Trefethen (2000) ile Higham ve Higham (2016) tarafından vurgulanan sayısal hassasiyetle bu teorik yüzeyleri canlandırmaktadır. Trefethen (2000), algoritmik doğruluğun sağladığı pürüzsüz görsel temsilin, keşif odaklı öğrenmeyi tetiklediğini ve öğrencinin parametreleri gerçek zamanlı manipüle etmesine olanak tanıdığını belirtir. Higham ve Higham (2016) ise Matlab'ın grafik işleme yeteneklerinin bu soyut nesnelere hacimsel bir gerçeklik kazandırdığını savunur.

Sonuç olarak, sunulan dinamik Riemann yüzeyi modeli, öğrencilerin çok değerli fonksiyonlar karşısında yaşadığı kavramsal tikanıklıkları gidermeyi amaçlamaktadır. Hareket çubuğu (slider) ve interaktif özellikler, öğrencinin pasif bir gözlemci olmaktan çıkıp manifold yapısını inşa eden aktif bir katılımcıya dönüşmesini sağlar. Bu pedagojik yaklaşım, analitik süreklilik ve topolojik yapı gibi ileri düzey kavramların, dinamik bir "somut durum" üzerinden öğrenilmesini mümkün kılarak kalıcı bir kavrayış sunmaktadır.

2. AMAÇ

Bu çalışmanın temel amacı, karmaşık analiz eğitiminde öğrencilerin en çok zorlandığı konulardan biri olan çok değerli fonksiyonların (multivalued functions) topolojik yapısını, dinamik ve etkileşimli bir öğrenme nesnesi aracılığıyla somutlaştırmaktır. Geleneksel öğretim yöntemlerinde kâğıt üzerinde iki boyutlu ve statik olarak sunulan dal kesimleri (branch cuts) ve dallanma noktaları (branch points), öğrencilerin zihninde süreksiz yapılar olarak algılanmaktadır. Bu çalışma, söz konusu teorik engelleri aşmak amacıyla, Matlab ortamında geliştirilen 3D Riemann yüzeyi modellerini kullanarak, fonksiyonun analitik sürekliliğini ve katmanlı manifold yapısını öğrencinin bizzat deneyimleyebileceği bir dijital laboratuvar ortamı sunmayı hedeflemektedir.

Çalışmanın bir diğer kritik amacı ise, hareket çubuğu (slider) ve otomatik yürütme (Auto-Run) gibi dinamik kontrol mekanizmalarının, soyut matematiksel kavramların içselleştirilmesindeki pedagojik etkisini incelemektir. Fonksiyonun faz açısındaki değişimlerin yüzey üzerindeki katmanlar arası geçişe nasıl dönüştüğünü gerçek zamanlı olarak görselleştiren bu model, öğrencinin bilişsel yükünü azaltmayı ve uzamsal zekasını geliştirmeyi amaçlar. Bu doğrultuda çalışma, yükseköğretim düzeyindeki matematik eğitiminde teknolojinin sadece bir hesaplama aracı olarak değil, kavramsal bir "keşif aracı" olarak konumlandırılmasının kalıcı öğrenme üzerindeki önemini ortaya koymayı hedeflemektedir.

3. PEDAGOJİK KAZANIMLAR VE ÖNEM:

Karmaşık analiz gibi yüksek düzeyde soyutlama gerektiren alanlarda, bilginin sadece sembolik düzeyde (formüllerle) sunulması, öğrencilerin kavramsal derinlik kazanmasını zorlaştırmaktadır. Geliştirilen interaktif Riemann yüzeyi modeli, öğrencilere her şeyden önce "uzamsal akıl yürütme" yetisi kazandırmaktadır. Öğrenci, fonksiyonun 2π periyodunu tamamladığında neden başlangıç noktasına dönmediğini, aksine yüzeyin bir üst katmanına pürüzsüzce geçtiğini slider aracılığıyla izleyerek, analitik süreklilik kavramını zihninde mekânsal bir olgu olarak kodlar. Bu durum, matematiksel bir "ezberin" yerini, topolojik bir "sezgiye" bırakmasını sağlar.

Çalışmanın sunduğu bir diğer önemli kazanım, "bilişsel yükün yönetimi" ve "aktif keşif" imkanıdır. Geleneksel yöntemlerde öğrenci, aynı anda hem karmaşık denklemleri çözmeye hem de bu denklemlerin 3D formunu hayal etmeye çalışırken yüksek bir bilişsel yük altına girer. Auto-Run özelliği ve dinamik kontroller, bu yükü hafifleterek öğrencinin dikkatini doğrudan "dallanma noktaları" (branch points) ve "yapraklar" (sheets) arasındaki geçiş ilişkisine odaklamasını sağlar. Böylece öğrenci, pasif bir bilgi alıcısı konumundan çıkarak, parametreleri manipüle eden ve "ya olursa" (what-if) senaryolarını test eden bir araştırmacı kimliği kazanır.

Son olarak bu model, "haptic (dokunsal) benzeri görsel tecrübe" sunması bakımından büyük bir öneme sahiptir. Matlab tabanlı bu modelleme, soyut bir fonksiyonu ışıklandırma, gölgelendirme ve derinlik algısı ile sunarak onu "fiziksel bir kütle" gibi algılatır. Bu durum, özellikle karmaşık düzlemde "imkânsız" gibi görülen kendi içinden geçen yüzeylerin, aslında yüksek boyutlu bir sürekliliğin 3. boyuttaki doğal bir yansıması olduğunu kavramayı kolaylaştırır. Bu bağlamda çalışma, ileri düzey matematik eğitiminde teknolojinin sadece işlem kolaylığı sağlayan bir araç değil, karmaşık teorilerin anlaşılmasını sağlayan bir "bilişsel protez" olduğunu kanıtlaması açısından stratejik bir öneme sahiptir.

4. MATEMATİKSEL MODEL VE YÖNTEM

Bu çalışma, karmaşık değişkenli fonksiyonlar teorisinin en temel çok değerli fonksiyonu olan $w = f(z) = \sqrt{z}$ modelini temel almaktadır. Matematiksel modelin inşasında, karmaşık düzlemdeki her bir z noktasının kutupsal formda $z = e^{i\theta}$ şeklinde ifade edilmesi esas alınmıştır.

Bu bağlamda, fonksiyonun sonuç kümesi $w = \sqrt{r} e^{\frac{i\theta}{2}}$ olarak tanımlanmaktadır. Geleneksel yaklaşımlarda $\theta \in [0, 2\pi)$ aralığı ile sınırlanan tek bir "dal" (branch) yerine; bu modelde θ parametresi $\theta \in [0, 4\pi)$ aralığına genişletilerek, fonksiyonun iki yapraklı (two-sheeted) Riemann yüzeyi topolojik olarak temsil edilmiştir. Yüzeyin üçüncü boyuttaki izdüşümü için fonksiyonun

reel kısmı ($\text{Re}(w)$) veya imajiner kısmı ($\text{Im}(w)$) düşey eksen (Z) olarak atanmış, $X = r \cos(\theta)$ ve $Y = r \sin(\theta)$ koordinatlarıyla bütünleşik bir hacimsel form elde edilmiştir.

Yöntem olarak, geliştirilen modelleme süreci "Dinamik Parametrik İnşa" ve "İnteraktif Görselleştirme" olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır:

4.1. Uygulama Aşamaları

4.1.1 Dinamik Parametrik İnşa: Matlab ortamında, r (yarıçap) ve θ (faz açısı) değişkenleri için yüksek çözünürlüklü bir sayısal ağ (mesh grid) oluşturulmuştur. Fonksiyonun dallanma noktası olan $z=0$ (orijin) civarındaki topolojik değişimleri pürüzsüzleştirmek adına, linspace fonksiyonu ile normalize edilmiş veri dizileri kullanılmıştır. Fonksiyonun çok değerliliği, θ değerinin 2π eşliğini geçtiği noktada Z değerinin (çıktının) işaret değiştirerek farklı bir düzleme (yaprağa) geçiş yapmasıyla simüle edilmiştir.

4.1.2. İnteraktif Görselleştirme ve Kontrol Mekanizması: Oluşturulan matematiksel yüzey, surf fonksiyonu ve phong aydınlatma algoritması kullanılarak görselleştirilmiştir. Nesneye entegre edilen iki temel kontrol mekanizması yöntemi tanımlamaktadır:

4.1.3. Manuel Manipülasyon: Hareket çubuğu (slider) aracılığıyla θ_{max} parametresi $[0, 4\pi]$ aralığında dinamik olarak güncellenmektedir. Bu yöntem, öğrenciye yüzeyin spiral yapısını ve "dal kesimi"nin (branch cut) aslında sürekliliği olan bir geçiş hattı olduğunu zamansal bir akışla deneyimletmektedir.

4.1.4. Algoritmik Otomasyon (Auto-Run): Zaman değişkenli bir while döngüsü kullanılarak, yüzeyin hem kendi eksenini etrafındaki rotasyonu hem de katman yayılımı otomatikleştirilmiştir. Bu yöntem, kullanıcının nesne üzerindeki bilişsel yükünü optimize ederek, topolojik geçişleri farklı perspektiflerden izlemesine olanak tanıyan "sürekli gözlem" metodolojisini uygulamaktadır.

4.2. Yöntemi Destekleyen Teknik Notlar:

4.2.1. Grafik İşleme: Yüzeyin renk haritası (colormap), Z değerine (çıktının büyüklüğü veya fazı) göre interp yöntemiyle boyanmıştır. Bu, öğrencinin çıktının büyüklüğündeki değişimi renk tonları üzerinden sezgisel olarak algılamasını sağlar.

4.2.2. Sayısal Kararlılık: $r \rightarrow 0$ sınırındaki tekillikleri (singularity) önlemek için kutupsal koordinat sisteminde düşük bir ofset değeri kullanılarak görsel kararlılık korunmuştur.

4.3. Teknik Uygulama Kodu

```
function dinamik_riemann_yuzeyi()
% 1. Sahne Kurulumu
fig = figure('Name', 'Riemann Yüzey Gezgini', 'NumberTitle', 'off', ...
            'Color', [0.05 0.05 0.1], 'Position', [100, 100, 1100, 850]);

ax = axes('Parent', fig, 'Position', [0.1, 0.25, 0.8, 0.7]);
ax.Color = 'none'; ax.XColor = 'w'; ax.YColor = 'w'; ax.ZColor = 'w';
hold(ax, 'on'); view(ax, [-45 35]); axis(ax, 'equal'); grid(ax, 'on');

% 2. Kontrol Paneli (Slider)
```

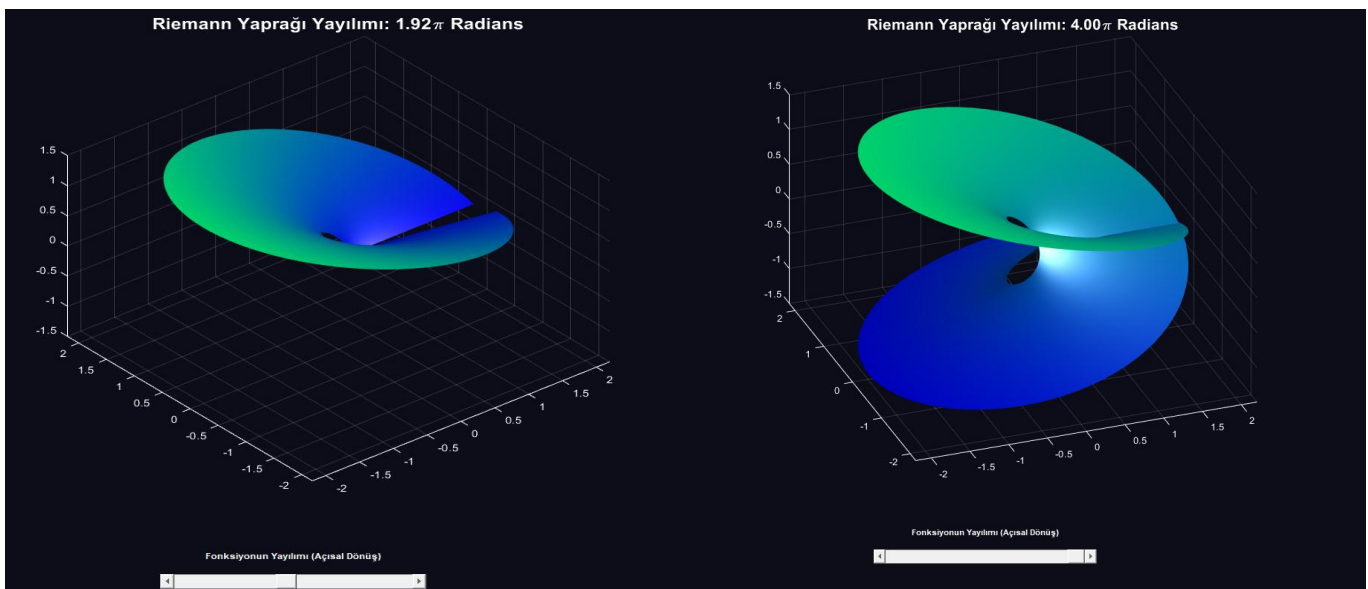
```
uicontrol('Style','text','Position',[350 100 300 20], ...  
    'String','Fonksiyonun Yayılımı (Açısal Dönüş)', ...  
    'BackgroundColor',[0.05 0.05 0.1], 'ForegroundColor','w', 'FontWeight','bold');
```

```
sld = uicontrol('Style','slider','Min', 0.1*pi, 'Max', 4*pi, 'Value', 2*pi, ...  
    'Position',[350 70 300 20]);
```

```
h_surf = surf(ax, [0 0; 0 0], 'EdgeColor','none', 'FaceColor','interp');  
colormap(ax, 'winter');  
camlight; lighting phong;
```

```
sld.Callback = @(~,~) guncelle();  
guncelle();
```

```
function guncelle()  
    max_th = sld.Value;  
    r = linspace(0.2, 2, 50);  
    th = linspace(0, max_th, 150);  
    [R, Th] = meshgrid(r, th);  
  
    X = R .* cos(Th);  
    Y = R .* sin(Th);  
    Z_val = sqrt(R) .* sin(Th/2); % Riemann Katman Yüksekliği  
  
    h_surf.XData = X; h_surf.YData = Y; h_surf.ZData = Z_val; h_surf.CData = Z_val;  
  
    title(ax, sprintf('Riemann Yapağı Yayılımı: %.2f\pi Radians', max_th/pi), ...  
        'Color','w', 'FontSize', 16);  
    axis(ax, [-2.2 2.2 -2.2 2.2 -1.5 1.5]);
```



end
end

Görsel 1: Çok Değerli Fonksiyonlara Ait Riemann Yüzeyi Modeli

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma kapsamında geliştirilen dinamik Riemann yüzeyi modeli, karmaşık analizin en soyut problemlerinden biri olan çok değerlilik olgusunun görselleştirilmesinde geleneksel yöntemlerin ötesine geçen bir çözüm sunmuştur. Needham'ın (1997) vurguladığı "görsel akıl yürütme" prensibi doğrultusunda, karmaşık fonksiyonların geometrik temsili, öğrencinin zihnindeki teorik boşlukları doldurmaktadır. Elde edilen sonuçlar, Stewart ve Tall (2018) tarafından belirtilen, öğrencilerin $z=0$ civarındaki dallanma noktalarında yaşadığı kavramsal tıkanıklığın, 3D manifold yapısının slider aracılığıyla dinamik olarak inşa edilmesiyle aşılabildiğini göstermektedir. Bu bağlamda, analitik süreklilik kavramı statik bir tanımdan ziyade, yapraklar arasındaki pürüzsüz geçişin gözlemlendiği somut bir sürece dönüşmüştür.

Çalışmanın teknik uygulama safhasında, Matlab'ın yüksek performanslı grafik işleme yeteneklerinin matematiksel nesnelerin pedagojik araçlara dönüştürülmesindeki etkinliği kanıtlanmıştır. Higham ve Higham (2016) ile Trefethen (2000) tarafından işaret edilen sayısal hassasiyet, yüzeyin "winter" ve "phong" aydınlatma modelleriyle sunulmasında kritik bir rol oynamıştır. Tartışmaya açılan en önemli bulgu, Wegert'in (2012) belirttiği üzere, renk haritalandırmasının (colormap) fonksiyonun büyüklük değerlerini temsil etmedeki başarısıdır. Bu yöntemle öğrenci, sadece yüzeyin geometrik formunu değil, aynı zamanda büyüklük ve faz değişimlerini de bilişsel bir bütünlük içinde kavrama imkânı bulmuştur.

Pedagojik açıdan değerlendirildiğinde, interaktif kontrol mekanizmalarının öğrenci üzerindeki "bilişsel yükü" optimize ettiği görülmektedir. Krantz (2000) ve Hansen'in (2015) çalışmalarında belirtildiği gibi, karmaşık fonksiyonların sadece denklemler üzerinden işlenmesi, öğrencide yüksek düzeyde soyutlama gereksinimi yaratarak öğrenme hızını yavaşlatmaktadır. Geliştirilen Auto-Run algoritması ve manuel manipülasyon araçları, öğrencinin odağını işlem kalabalığından uzaklaştırarak doğrudan topolojik yapıya yönlendirmiştir. Bu durum, matematiksel objelerin "haptic" (dokunsal benzeri) bir tecrübe ile öğrenilmesinin, kalıcı öğrenme çıktıları üzerindeki stratejik önemini teyit etmektedir.

Sonuç olarak, bu bildiri karmaşık analiz eğitiminde dijital modelleme ve simülasyonların kullanımının bir lüks değil, kavramsal derinlik için bir gereklilik olduğunu ortaya koymuştur. Ablowitz ve Fokas (2003) tarafından teorik çerçevesi çizilen "dal kesimi'nin yapaylığı, bu modeldeki bütüncül manifold yapısıyla netleştirilmiştir. Gelecekteki çalışmalarda, bu yaklaşımın sadece karekök fonksiyonu ile sınırlı kalmayıp, logaritmik ve eliptik fonksiyonlar gibi daha yüksek cins (genus) değerine sahip Riemann yüzeylerine de uygulanabileceği öngörülmektedir. Bu çalışma, ileri düzey matematik konularının öğretiminde teknolojinin "bilişsel bir protez" olarak konumlandırılmasına yönelik kapsamlı bir örnek teşkil etmektedir.

KAYNAKÇA

[1] M. J. Ablowitz and A. S. Fokas, *Complex Variables: Introduction and Applications*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2003.

- [2] A. F. Beardon, *Iteration of Rational Functions: Complex Analytic Dynamical Systems*. New York, NY, USA: Springer-Verlag, 1991.
- [3] V. L. Hansen, *Functional Analysis: Entering Hilbert Space*. Singapore: World Scientific Publishing, 2015.
- [4] D. J. Higham and N. J. Higham, *MATLAB Guide*, 3rd ed. Philadelphia, PA, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2016.
- [5] J. Jost, *Compact Riemann Surfaces: An Introduction to Contemporary Mathematics*. Berlin, Germany: Springer, 2006.
- [6] S. G. Krantz, *Function Theory of One Complex Variable*. Providence, RI, USA: American Mathematical Society, 2000.
- [7] T. Needham, *Visual Complex Analysis*. Oxford, U.K.: Oxford University Press, 1997.
- [8] I. Stewart and D. Tall, *Complex Analysis: The Hitchhiker's Guide to the Plane*, 2nd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2018.
- [9] L. N. Trefethen, *Spectral Methods in MATLAB*. Philadelphia, PA, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2000.
- [10] E. Wegert, *Visual Complex Functions: An Introduction with Phase Portraits*. Basel, Switzerland: Birkhäuser/Springer, 2012.

SOBER REFLEXIVE SPACES

ALİ ALBAYRAK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mathematics, Kayseri,
ali51albayrak@gmail.com- 0009-0003-7188-363X

Prof. Dr. MEHMET BARAN

Erciyes University, Kayseri,
baran@erciyes.edu.tr- 0000-0001-9802-3718

ABSTRACT

The notion of sobriety is one of the fundamental concepts in general topology and plays a significant role in point-free topology, locale theory, algebraic geometry, and domain theory. Sober spaces constitute one of the most important and useful classes among non-Hausdorff topological spaces. Recall that a topological space (X, τ) is called irreducible if for closed subsets $A, B \subset X$ and $X = A \cup B$ then, $A = X$ or $B = X$. A topological space (X, τ) is said to be sober if every nonempty irreducible closed subset of X is the closure of a unique point. A topological space is pre-Hausdorff, i.e., pre T_2 if and only if for any two distinct points, if there is a neighborhood of one missing the other, then the points have disjoint neighborhoods. In the realm of pre T_2 topological spaces all T_0, T_1, T_2 and sober spaces are equivalent. A topological space is T_2 if and only if it is sober and pre T_2 . Moreover, being T_1 or pre T_2 being sober are incomparable properties. The category of reflexive relation spaces, denoted by **RRel**, has as objects the pair (X, R) , where X is a set and R is reflexive relation on X , and as morphisms $(X, R) \rightarrow (X_1, R_1)$ those functions $f: X \rightarrow X_1$ such that if xRy , then $f(x)R_1f(y)$ for all $x, y \in X$.

In this paper, we characterize sober reflexive spaces and we investigate the relationships between the sober property and the separation axioms T_0, T_1, T_2 and pre T_2 in the category **RRel**.

Anahtar Kelimeler : Sober reflexive spaces, pre-Hausdorff property, topological category.

T_D REFLEXIVE SPACES

MEHMET AKYEL

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mathematics, Kayseri,
mehmetakyel3830@gmail.com - 0009-0004-0623-7743

Prof. Dr. MEHMET BARAN

Erciyes University, Kayseri,
baran@erciyes.edu.tr - 0000-0001-9802-3718

ABSTRACT

In 1969, Aull and Thron introduced the class of T_D spaces, which has since become an important concept in the study of non-Hausdorff topology. A topological space (X, τ) is called a T_D space if for every point $x \in X$, there exists an open set U containing x such that $U \setminus \{x\}$ is open. Later, Hoffmann characterized T_D spaces in terms of irreducible filters. More recently, sub-Hausdorff spaces were investigated by Denniston, and Abulghalwa extended the notion of T_D spaces to topological categories. For a topological space, the axiom T_D lies strictly between the separation axioms T_0 and T_1 , and therefore plays a significant role in the analysis of generalized separation properties in non-Hausdorff settings. In particular, T_D spaces provide a natural framework for studying categorical and graph-theoretical structures endowed with generalized topologies.

Recall that a topological space is pre-Hausdorff, i.e., pre T_2 if and only if for any two distinct points, if there is a neighborhood of one missing the other, then the points have disjoint neighborhoods. In the realm of pre T_2 objects each of T_0 , T_1 , T_2 and T_D are equivalent. Also, there is no relation between pre T_2 and T_D . The category of reflexive spaces, denoted by **RRel**, has as objects the pair (X, R) , where X is a set and R is reflexive relation on X , and as morphisms $(X, R) \rightarrow (X_1, R_1)$ those functions $f: X \rightarrow X_1$ such that if xRy , then $f(x)R_1f(y)$ for all $x, y \in X$.

In this paper, we characterize T_D reflexive spaces and we investigate the relationships between the T_D property and the separation axioms T_0 , T_1 , T_2 and pre T_2 in the category **RRel**.

Anahtar Kelimeler : T_D reflexive spaces, topological category, separation axioms.

GENÇ FUTBOLCULARIN MEVKİLERE GÖRE BAZI MOTORİK ÖZELLİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ayçe İdil KORKUT

İstanbul Gelişim Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
dytayceidilkorkut@gmail.com - 0009-0002-4006-4511

Doktor Öğr. Üyesi Ömer AKSOY

İstanbul Gelişim Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi
aksoyyomerr@gmail.com - 0000-0002-0976-4977

ÖZET

Bu çalışma, genç futbolcuların farklı mevkilerde sergiledikleri motorik özellikleri karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Araştırmaya Türkiye’de akademi liginde 16 yaş kategorisinde mücadele eden 30 erkek futbolcu gönüllü olarak katılmıştır. Futbolcular iki gruba ayrılarak testlere farklı günlerde alınmıştır. İlk gün boy uzunluğu, vücut ağırlığı, 30 m sürat, dikey sıçrama ve tekrarlı sprint; ikinci gün ise 505 çeviklik ve 30-15 IFT testleri uygulanmıştır. Futbolcuların boy uzunluğu, vücut ağırlığı ve BKİ ölçümlerinin yanı sıra 30 m hız, çeviklik, alt ekstremite bacak kuvveti, VO_2max , dikey sıçrama ve anaerobik güç performans parametreleri değerlendirilmiştir. Verilerin normallik dağılımı Shapiro-Wilk testi ile incelenmiş, normal dağılım göstermesi üzerine mevkiler arasındaki karşılaştırmalarda One-Way ANOVA testi kullanılmıştır. Analizler SPSS 24 paket programında gerçekleştirilmiştir. Bulgular, futbolcuların 30 m hız, çeviklik, alt ekstremite bacak kuvveti, VO_2max , dikey sıçrama, ortalama anaerobik güç ve relatif zirve güç değerlerinde mevkisel olarak istatistiksel açıdan anlamlı farklılık olmadığını göstermiştir. Sonuç olarak, ortalama değerler incelendiğinde savunma oyuncularının çeviklik, 30 m sürat, dikey sıçrama, bacak kuvveti, ortalama anaerobik güç, maksimum-minimum güç ve yorgunluk indeksi parametrelerinde diğer mevkilerden daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, ilgili yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Futbol, Futbolda Mevkiler, Motorik Özellikler

COMPARISON OF SOME MOTORIC CHARACTERISTICS OF YOUNG SOCCER PLAYERS ACCORDING TO PLAYING POSITIONS

ABSTRACT

This study was conducted to compare the motor performance characteristics of young soccer players according to their playing positions. A total of 30 male soccer players competing in the U16 category of the Turkish Academy League voluntarily participated in the study. The players were divided into two groups and completed the testing procedures on different days. On the first day, body height, body weight, 30-m sprint, vertical jump, and repeated sprint tests were administered. On the second day, the 505 Agility Test and the 30–15 Intermittent Fitness Test (30–15 IFT) were conducted. In addition to body height, body weight, and BMI measurements, motor performance parameters including 30-m sprint speed, agility, lower-extremity leg strength, $VO_2\text{max}$, vertical jump performance, and anaerobic power were evaluated. The normality of the data distribution was assessed using the Shapiro–Wilk test. Since the data were normally distributed, One-Way ANOVA was used to compare performance parameters among playing positions. All statistical analyses were performed using SPSS version 24. The findings indicated no statistically significant positional differences in 30-m sprint speed, agility, lower-extremity leg strength, $VO_2\text{max}$, vertical jump performance, mean anaerobic power, or relative peak power values. However, when the mean values were examined, defenders demonstrated higher scores in agility, 30-m sprint performance, vertical jump height, leg strength, mean anaerobic power, maximum–minimum power, and fatigue index parameters compared with midfielders and forwards. In conclusion, although no statistically significant differences were observed among playing positions, defenders exhibited superior average values in several motor performance parameters compared with players in other positions. This study was derived from a master's thesis.

Keywords: Football, Positions in Football, Motoric Characteristics

FİZİKSEL AKTİVİTENİN UYKU BOZUKLUĞU ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Seval YUMRUTEPE

İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor ABD
yumrutepeseval@gmail.com - 0009-0004-4257-2872

Doç. Dr. Nurkan YILMAZ

İnönü Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi
nurkan.yilmaz@inonu.edu.tr - 0000-0002-8845-7093

ÖZET

Fiziksel aktivite ile uyku sağlığı arasındaki ilişkinin anlaşılması, bireylerin yaşam kalitesinin artırılması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı fiziksel aktivite düzeyinin uyku bozukluğuna etkisini incelemiş çalışmaların analizini yapmaktır. Çalışma 2000-2025 yılları arasında YÖKTEZ ve dergipark'ta yayınlanmış fiziksel aktivite ve uyku bozukluğu ilişkisini incelemiş 9 çalışma ele alınmıştır. İncelenen çalışmaların istatistik analizleri yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, düzenli fiziksel aktiviteye katılan bireylerin uyku kalitesinin daha yüksek olduğunu ve uyku bozukluğu düzeylerinin daha düşük olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak fiziksel aktivitenin uyku bozukluklarının azaltılmasında önemli bir faktör olduğu ve bireylerin uyku kalitesini olumlu yönde etkilediği söylenebilir. Bu bağlamda düzenli fiziksel aktivitenin uyku sağlığını korunması ve geliştirilmesi açısından teşvik edilmesi önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Fiziksel Aktivite, Uyku Bozukluğu, Uyku Düzeni

ABSTRACT

Understanding the relationship between physical activity and sleep health is of significant importance for enhancing individuals' quality of life. The aim of this study is to analyze research examining the effect of physical activity level on sleep disorders. A total of nine studies published between 2000 and 2025 in the YÖK National Thesis Center and DergiPark databases that investigated the relationship between physical activity and sleep disorders were included in the analysis. The results were analyzed using statistical analysis methods. The findings indicate that individuals who regularly participate in physical activity have higher sleep quality and lower levels of sleep disorders. In conclusion, physical activity can be considered an

important factor in reducing sleep disorders and positively affecting sleep quality. In this context, promoting regular physical activity is recommended to protect and improve sleep health.

Keywords: Physical Activity, Sleep Disorders, Sleep Regulation

GİRİŞ

Sağlıklı bir toplum için olmazsa olmaz şart sağlıklı bireylerdir. Bu konu ile ilgili en önemli adım ise bireylere sağlığın korunması ve geliştirilmesi ile ilgili pozitif davranışlar kazandırılmasıdır. Fiziksel aktivite, bazal seviyenin üstünde enerji harcamasını artıran, iskelet kaslarının kontraksiyonu ile oluşan vücut hareketleri olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, enerji harcamasını artıran tüm aktiviteler fiziksel aktivite olarak bilinir. Fiziksel aktivite sağlığın korunması ve geliştirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Düzenli fiziksel aktivitenin çok sayıda kronik hastalık için koruyucu etkiye sahip olduğu ve erken ölüm riskini azalttığına dair önemli kanıtlar bulunmaktadır (Alpözgen ve Özdiñler, 2016). Sedanter yaşam; metabolik sendrom, kalp hastalıkları, diyabet ve kanser gibi hastalıklar için risk faktörüdür. Fiziksel aktivite ile birlikte, kalp-damar hastalıkları, diyabet, inme, metabolik sendrom, kanser gibi durumların azaldığı, kardiyorespiratuar ve fiziksel uygunluğun, kognitif fonksiyonların arttığına yönelik güçlü kanıtlar mevcuttur (Lee ve ark. 2012). Fiziksel aktivite ve egzersizin, sağlıklı yetişkinlerde daha iyi bir uyku kalitesi ve daha az uyku bozukluğuyla ilişkisi olduğu bildirilmiştir (Borodulin ve ark., 2010). Metabolik sendrom tedavisinde, kilo verme, düzenli fiziksel aktivite, sağlıklı beslenme ve yaşam tarzı değişiklikleri önemli bir yere sahiptir.

Uyku; kişilerin duyuşsal veya başka uyaranlarla geri döndürülebilir bilinçsizlik halinde olmasıdır. Fiziksel, ruşsal ve sosyal birçok rahatsızlıkla ilişkili olduğu düşünölen uyku bozuklukları, dünyada oldukça yaygın görölmektedir. ABD’de nüfusun yaklaşık %50’si belirli dönemlerde uyku bozukluğundan şikayet ederken, nüfusun %10’unun klinik olarak uyku problemi yaşadığı gösterilmiştir. Uyku Tıbbı Amerikan Akademisi’nin ve Uyku Araştırmaları Topluluğu’nun uzlaşlı bildirisine göre 18-60 yaş arası bireylerin düzenli olarak geceleri en az 7 saat uyuması sağlığı en iyi şekilde desteklemektedir (Şenol ve ark., 2012). Uyku bozukluklarına bağılı kötü uyku kalitesi ve uykuda azalma modern topluluklarda yaygın hale gelmiştir. İş ve aile nedeniyle düzenlenen yeni yaşam değişiklikleri, fiziksel ve psikolojik sorunlar, internet ve televizyona bağılı sosyal değişiklikler nedeniyle uykunun kısıtlanması, metabolik süreci etkileyen endemik bir hal almıştır (Şenol ve ark., 2012). Aktif sağlıklı bireylerin, fiziksel

aktivite sayesinde daha iyi bir uyku kalitesine sahip oldukları gösterilmiştir (İyigün ve ark., 2017).

YÖNTEM

Araştırma Deseni

Bu çalışma, 2015–2025 yılları arasında fiziksel aktivitenin uyku bozukluğu üzerindeki etkilerini inceleyen uluslararası ve Türkiye’de ki çalışmalarını değerlendiren sistematik derleme niteliğindedir. Sistematik derleme yaklaşımı, literatürdeki kanıtları derli toplu ve eleştirel bir biçimde sunmak amacıyla tercih edilmiştir (Davenport ve ark., 2021; Oruk, 2023). Çalışma süreci PRISMA yönergelerine uygun olarak yürütülmüştür (Moher ve ark., 2009).

Veri Kaynakları ve Arama Stratejisi

Verilere DergiPark, ResearchGate ve ulusal PDF veri tabanları üzerinden ulaşılmıştır. Tarama ve araştırma sürecinde “fiziksel aktivite”, “uyku düzeni” gibi anahtar kelimeler kullanılmıştır.

Dahil Edilme Kriterleri

Araştırmaya dahil edilme kriterleri;

1. Konunun fiziksel aktiviteyi incelemesi,
2. Tam metnine ulaşılabilir olması,
3. Uyku düzeni ile ilişkili olması,
4. Hakemli bir yayın içermesidir.

Dışlama Kriterleri

1. Tam metnine erişilemeyen çalışmalar kapsam dışı bırakılmıştır.

Veri Toplama ve Seçim Süreci

Çalışmalar araştırmacı tarafından bağımsız olarak taranmış; başlık ve özet taraması sonrası tam metin incelemesi yapılmıştır. Çalışmaların metodolojik özellikleri, örneklem büyüklüğü, ölçüm araçları ve bulguları tablolar hâlinde düzenlenmiştir.

Veri Analizi

Toplanan yayınlar; yıl, örneklem, yöntem ve temel bulgular açısından karşılaştırmalı olarak incelenmiş; elde edilen veriler tematik analiz yoluyla yorumlanmıştır. Analiz sürecinde

çalışmalarda tekrar eden temalar belirlenmiş ve fiziksel aktivite ve uyku bozukluğu arasındaki bağı açıklayan faktörler ortaya çıkarılmıştır.

BULGULAR

Bu bölümde sistematik derlemeye dahil edilen araştırmaların yazar, yayın yılı, amaç ve sonuçlar açısından genel özelliklerine ilişkin betimleyici bilgiler verilmiştir.

Yıl	Çalışma Başlığı / Kaynağı	Tür	Örneklem / Popülasyon	Ölçüm Araçları	Temel Bulgular
Çalık, 2011	Yaşlılarda fiziksel aktivite ile uyku kalitesi arasındaki ilişki	Yüksek Lisans Tezi (YÖKTEZ)	65 yaş ve üzeri bireyler	IPAQ, PUKİ	Fiziksel aktivite ile genel uyku kalitesi arasında zayıf ilişki; düşük aktivite gündüz uykululuğu ile ilişkili
Akova, 2016	20 yaş üstü erişkinlerde uyku süresi, uyku kalitesi ve fiziksel aktivite ilişkisi	Yüksek Lisans Tezi (YÖKTEZ)	Yetişkin bireyler	IPAQ, PUKİ	Fiziksel aktivite düzeyi arttıkça uyku kalitesinde kısmi iyileşme
Yıldız, 2019	10–14 yaş çocuklarda uyku, ekran süresi ve fiziksel aktivite	Yüksek Lisans Tezi (YÖKTEZ)	Çocuklar (10–14 yaş)	Anket, PUKİ-Çocuk	Ekran süresi arttıkça uyku kalitesi düşmekte; fiziksel aktivite dolaylı etki göstermekte
Sarıkaya ve ark., 2023	Spor bilimleri öğrencilerinde fiziksel aktivite ile uyku kalitesi	Akademik Makale (DergiPark)	Üniversite öğrencileri	IPAQ, PUKİ	Orta–yüksek düzey fiziksel aktivite daha iyi uyku kalitesi ile ilişkili
Rentürk Usta, 2024	Sağlık çalışanlarında fiziksel aktivite ve uyku kalitesi (Van ili)	Yüksek Lisans Tezi (YÖKTEZ)	Sağlık çalışanları	IPAQ, PUKİ	Fiziksel aktivite düzeyi düşük olanlarda uyku kalitesi anlamlı biçimde daha kötü
Xiao ve ark., 2024	Relationship between physical activity	Uluslararası Makale	Ergenler (n≈500)	IPAQ, Sleep	Fiziksel aktivite uyku bozukluklarını

	and sleep disorders in adolescents	(BMC Psychology)		Disorder Scale	azaltmakta; anksiyete aracı değişken
Chen ve ark., 2025	Effect of physical activity on anxiety through sleep quality	Uluslararası Makale (BMC Psychiatry)	Lise öğrencileri (n≈33.000)	PAQ, Sleep Quality Index	Fiziksel aktivite uyku kalitesini iyileştirerek anksiyeteyi dolaylı azaltmakta
Altun, 2025	Obez çocuklarda D vitamini, uyku ve fiziksel aktivite ilişkisi	Yüksek Lisans Tezi (YÖKTEZ)	Obez çocuklar	Fiziksel Aktivite Anketi, Uyku Ölçeği	Düşük fiziksel aktivite daha kısa uyku süresi ve düşük uyku kalitesi ile ilişkili

İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğunda fiziksel aktivite düzeyi ile uyku kalitesi ve uyku bozukluğu arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmektedir. Farklı yaş gruplarını kapsayan örneklemelerde, fiziksel aktivite düzeyi arttıkça uyku kalitesinin yükseldiği, uyku bozukluğu ve gündüz uykululuğu düzeylerinin ise azaldığı rapor edilmiştir.

Yaşlı bireyler üzerinde yapılan çalışmalarda, düşük fiziksel aktivite düzeyinin özellikle gündüz uykululuğu ile ilişkili olduğu; yetişkin ve üniversite öğrencisi örneklemelerinde ise orta ve yüksek düzey fiziksel aktivitenin daha iyi uyku kalitesiyle ilişkili olduğu belirlenmiştir. Çocuk ve ergen gruplarında elde edilen bulgular, fiziksel aktivitenin uyku bozukluklarını azalttığını, bazı çalışmalarda bu ilişkinin ekran süresi ve anksiyete gibi değişkenler aracılığıyla dolaylı olarak ortaya çıktığını göstermektedir.

Türkiye’de gerçekleştirilen tez ve makale çalışmalarının bulgularına göre, ilköğretim öğrencileri ve sağlık çalışanlarında fiziksel aktivite düzeyi yüksek olan bireylerin uyku bozukluğu düzeyleri daha düşük, uyku kaliteleri ise daha yüksektir. Uluslararası çalışmalarda ise geniş örneklemelerle elde edilen sonuçlar, fiziksel aktivitenin uyku kalitesini iyileştirerek anksiyete düzeylerini dolaylı olarak azalttığını ortaya koymaktadır.

Genel olarak bulgular, fiziksel aktivitenin uyku süresi, uyku kalitesi ve uyku bozukluğu üzerinde olumlu etkilerinin bulunduğunu ve düşük fiziksel aktivite düzeylerinin uyku sağlığı açısından risk oluşturduğunu göstermektedir.

TARTIŞMA

Bu çalışmada, fiziksel aktivite ile uyku kalitesi ve uyku bozuklukları arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmaların bulguları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, fiziksel aktivite

düzeının uyku sağığı üzerinde önemli bir belirleyici olduğunu göstermektedir. İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğunda, fiziksel aktivite düzeyi arttıkça uyku kalitesinin yükseldiğı ve uyku bozukluğu düzeylerinin azaldığı belirlenmiştir. Bu bulgu, fiziksel aktivitenin uyku düzenleyici etkisini vurgulayan önceki araştırmalarla tutarlıdır (Kredlow ve ark., 2015).

Farklı yaş gruplarını kapsayan çalışmalar değerlendirildiğinde, fiziksel aktivitenin uyku üzerindeki etkisinin yaşam dönemlerine göre değişkenlik gösterebildiğı görölmektedir. Yaşlı bireylerde düşük fiziksel aktivite düzeyinin gündüz uykululuğı ve uykusuzluk semptomları ile güçlü bir ilişkisi olduğu rapor edilmiştir (Reid ve ark., 2010). Genç ve yetişkin gruplarda ise orta ve yüksek düzey fiziksel aktivitenin daha iyi uyku kalitesiyle bağlantılı olduğu görölmektedir. Çocuk ve ergen örneklemelerinde fiziksel aktivitenin uyku bozukluklarını azalttığı, ancak bazı çalışmalarda bu etkinin ekran süresi ve anksiyete gibi psikososyal değişkenler aracılığıyla dolaylı olarak ortaya çıktığı belirtilmektedir (Lang ve ark., 2016). Bu durum, uyku sağığının çok boyutlu bir yapıya sahip olduğunu ve fiziksel aktivitenin bu yapı içerisindeki rolünün diğer yaşam tarzı faktörleriyle birlikte ele alınması gerektiğini düşündürmektedir.

Türkiye’de yürütölen çalışmaların bulguları da uluslararası literatürle büyük ölçüde paralellik göstermektedir. Üniversite öğrencilerini kapsayan araştırmalarda, fiziksel aktivite düzeyi düşük olan bireylerin uyku kalitesinin anlamlı derecede daha kötü olduğu saptanmıştır (Uysal ve Kurul, 2025). Özellikle yoğun çalışma temposuna sahip sağık çalışanları gibi gruplarda, fiziksel aktivite yetersizliğinin vardiyalı çalışma stresini artırarak uyku sağığını olumsuz etkilediğı görölmektedir (Aydın ve Kamuk, 2021). Bu sonuçlar, modern yaşam koşullarının fiziksel hareketsizlik ve uyku problemleri üzerindeki olumsuz etkisini destekler niteliktedir.

Uluslararası çalışmalarda elde edilen bulgular, fiziksel aktivitenin yalnızca uyku kalitesini doğrudan artırmakla kalmadığını, aynı zamanda anksiyete gibi psikolojik değişkenler üzerinde dolaylı etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Uyku kalitesindeki iyileşmenin, anksiyete düzeylerinin azalmasına aracılık etmesi, fiziksel aktivitenin ruh sağığı ve uyku sağığı arasındaki ilişkide merkezi bir rol oynadığını göstermektedir (Passos ve ark., 2011).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, son 25 yıl içerisinde YÖK Tez Merkezi ve Google Akademik veri tabanlarında yayımlanmış, fiziksel aktivite ile uyku bozuklukları arasındaki ilişkiyi inceleyen araştırmalar bütöncöl bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. İncelenen çalışmalar genel olarak,

fiziksel aktivite düzeyinin uyku kalitesi ve uyku bozuklukları üzerinde doğrudan ya da dolaylı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, özellikle çocuklar, ergenler ve genç erişkinlerde fiziksel aktivite düzeyinin artmasının uyku kalitesini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Uluslararası literatürde yer alan geniş örneklemliler çalışmaları, düzenli fiziksel aktivitenin uyku süresini uzattığını, uykuya dalma süresini kısalttığını ve uyku bozukluğu görülme sıklığını azalttığını destekler niteliktedir. Buna karşın, YÖK Tez Merkezi'nde yer alan bazı ulusal çalışmalarda bu ilişkinin daha zayıf veya istatistiksel olarak sınırlı düzeyde bulunması, örneklem büyüklüğü, ölçüm araçları ve çalışma desenlerindeki farklılıklarla açıklanabilir.

Yaş gruplarına göre değerlendirildiğinde, yaşlı bireylerde fiziksel aktivite ile uyku kalitesi arasındaki ilişkinin daha karmaşık bir yapı sergilediği görülmektedir. Bu grupta kronik hastalıklar, ilaç kullanımı ve yaşa bağlı fizyolojik değişikliklerin, fiziksel aktivitenin uyku üzerindeki etkisini sınırlayabildiği düşünülmektedir. Bu durum, literatürde bildirilen bazı çalışmalarda anlamlı bir ilişki bulunamamasını açıklayan önemli bir faktör olarak değerlendirilebilir. Çocuk ve ergenlerde ise fiziksel aktivitenin uyku üzerindeki etkisinin, ekran süresi, psikolojik durum ve günlük yaşam alışkanlıkları gibi değişkenlerle birlikte ele alındığında daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar, fiziksel aktivitenin uyku kalitesi üzerindeki etkisinin anksiyete, stres ve teknoloji kullanım alışkanlıkları aracılığıyla dolaylı olarak şekillendiğini göstermektedir. Bu bulgu, fiziksel aktivitenin yalnızca biyolojik değil, aynı zamanda psikososyal bir düzenleyici rol üstlendiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, incelenen çalışmalar fiziksel aktivitenin uyku bozukluklarının önlenmesi ve uyku kalitesinin artırılmasında önemli bir yaşam tarzı bileşeni olduğunu göstermektedir. Ancak mevcut literatürde çalışmaların büyük bir bölümünün kesitsel tasarıma sahip olması, nedensel ilişkilere dair güçlü çıkarımlar yapılmasını sınırlandırmaktadır. Gelecekte yapılacak deneysel ve uzunlamasına çalışmaların, farklı yaş gruplarında fiziksel aktivitenin türü, süresi ve şiddetinin uyku üzerindeki etkilerini daha ayrıntılı biçimde ele alması önerilmektedir. Bu bağlamda, fiziksel aktivite temelli müdahale programlarının uyku sağlığını destekleyici bir araç olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Akova, İ. (2016). 20 yaş üstü erişkinlerde uyku süresi, kalitesi, fiziksel aktivite düzeyi ve bazı antropometrik ölçümler arasındaki ilişkiler. Cumhuriyet Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Sivas.

- Alpözgen Zengin, A., & Özdiñler Razak, A. (2016). Fiziksel aktivite ve koruyucu etkileri: Derleme. *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*, 3(1), 66–72.
- Altun, E. Z. (2025). Obez çocuklarda D vitamini düzeyinin değeriendirilmesi, insülin direnci, uyku ve fiziksel aktivite ile ilişkisinin irdelenmesi. Ankara Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Ankara.
- Aydın, Y., & Kamuk, Y. U. (2021). Hemşirelerin Fiziksel Aktivite Düzeyleri ile Yaşam Kalitesi ve Tükenmişlik Düzeyleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Journal of Sport Sciences Research*, 6(1), 88-105. <https://doi.org/10.25307/jssr.902511>
- Borodulin, K., Evenson, K. R., Monda, K., Wen, F., Herring, A. H., & Dole, N. (2010). Physical activity and sleep among pregnant women. *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, 24(1), 45–52.
- Chen, B., et al. (2025). The effect of physical activity on anxiety through sleep quality among Chinese high school students: evidence from cross-sectional study and longitudinal study. *BMC Psychiatry*, 25, 495. <https://doi.org/10.1186/s12888-025-06301-y>
- Çalık, İ. (2011). Yaşlılarda fiziksel aktivite ile uyku kalitesi arasındaki ilişki. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. İzmir.
- Davenport, M. H., Giroux, I., Mottola, M. F., Gruslin, A., Skow, R. J., Meah, V. L., ... & Ruchat, S.-M. (2021). Effects on the maternal–fetal health outcomes of various physical activity types in healthy pregnant women: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 224(1), 42.e1–42.e18. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2020.07.046>
- İyigün, G., Angin, E., Kırmızıgil, B., Öksüz, S., Özdil, A., & Malkoç, M. (2017). Üniversite öğrencilerinde uyku kalitesinin mental sağlık, fiziksel sağlık ve yaşam kalitesi ile ilişkisi. *Journal of Exercise Therapy and Rehabilitation*, 4(3), 125–133.
- Kredlow, M. A., Capozzoli, M. C., Hearon, B. A., Calkins, A. W., & Otto, M. W. (2015). The effects of physical exercise on sleep: a meta-analytic review. *Journal of Behavioral Medicine*, 38(3), 427-449.
- Lang C, Kalak N, Brand S, Holsboer-Trachsler E, Pühse U, Gerber M. The relationship between physical activity and sleep from mid adolescence to early adulthood. A systematic review of methodological approaches and meta-analysis. *Sleep Med Rev*. 2016 Aug;28:32-45. doi: 10.1016/j.smr.2015.07.004. Epub 2015 Aug 5. PMID: 26447947.
- Lee, I. M., Shiroma, E. J., Lobelo, F., Puska, P., Blair, S. N., & Katzmarzyk, P. T. (2012). Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: An analysis of burden of disease and life expectancy. *The Lancet*, 380(9838), 219–229.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G. & The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses: The PRISMA Statement. *Annals Int Med*, 151:264-269.
- Oruk, D. Ö. (2023). Türkiye’de gebelik döneminde fiziksel aktivite ve egzersiz: Bir literatür derlemesi. *Anadolu Kliniği Tıp Bilimleri Dergisi*, 28(3), 425–432. <https://doi.org/10.21673/anadoluklin.1211698>

- Passos, G. S., Poyares, D., Santana, M. G., D'Aurea, C. V., Youngstedt, S. D., Tufik, S., & de Mello, M. T. (2011). Effects of moderate aerobic exercise training on chronic primary insomnia. *Sleep Medicine*, 12(10), 1018-1027.
- Reid, K. J., Baron, K. G., Lu, B., Naylor, E., Wolfe, L., & Zee, P. C. (2010). Aerobic exercise improves self-reported sleep and quality of life in older adults with insomnia. *Sleep Medicine*, 11(9), 934-940.
- Rentürk Usta, Z. (2024). Van YYÜ Dursun Odabaş Tıp Merkezi'nde görevli sağlık çalışanlarında fiziksel aktivitenin uyku kalitesi üzerine etkisi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Aile Hekimliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Van.
- Sarıkaya, M., Ökmen, M. Ş., & Bağcı, E. (2023). Spor bilimleri öğrencilerinin fiziksel aktivite düzeyi ile uyku kalitesi arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Journal of Sport for All and Recreation*, 5(1), 9-16. <https://doi.org/10.56639/jsar.1279951>
- Şenol, V., Soyuer, F., Akça, R. P., & Argün, M. (2012). Adölesanlarda uyku kalitesi ve etkileyen faktörler. *Kocatepe Tıp Dergisi*, 14, 93–102.
- Uysal, M., & Kurul, R. (2025). Üniversite Öğrencilerinin Fiziksel Aktivite Düzeyleri ile Yorgunluk, Uyku Kalitesi ve Uykululuk Arasındaki İlişki. *Academic Platform Journal of Halal Lifestyle*, 7(2), 70-79. <https://doi.org/10.53569/apjhls.1825655>
- Xiao, T., Pan, M., Xiao, X., & Liu, Y. (2024). The relationship between physical activity and sleep disorders in adolescents: a chain-mediated model of anxiety and mobile phone dependence. *BMC Psychology*, 12, 751. <https://doi.org/10.1186/s40359-024-02237-z>
- Yıldız, Y. (2019). 10–14 yaş arası kız ve erkek çocuklarda uyku, TV izleme, bilgisayar ve akıllı telefon kullanım sürelerinin fiziksel aktivite düzeyi ve beden kompozisyonuna etkisinin incelenmesi. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Antrenörlük Eğitimi Ana Bilim Dalı, Antrenörlük Eğitimi Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Muğla.

GEBELİKTE FİZİKSEL AKTİVİTENİN ANNE VE FETÜS SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Seval YUMRUTEPE

İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor ABD

yumrutepeval@gmail.com - 0009-0004-4257-2872

Doç. Dr. Nurkan YILMAZ

İnönü Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

nurkan.yilmaz@inonu.edu.tr - 0000-0002-8845-7093

ÖZET

Gebelik, maternal ve fetal sağlık açısından kritik bir dönemdir. Fiziksel, ruhsal ve sosyal açıdan birçok değişimin yaşandığı bu süreçte annenin yaşam tarzı, özellikle fiziksel aktivite düzeyleri, hem anne hem de fetüs sağlığı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu sistematik derleme, 2015–2025 döneminde uluslararası ve Türkiye kaynaklı çalışmaları inceleyerek gebelikte fiziksel aktivitenin anne ve fetüs sağlığı üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Literatür taraması PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, TRDizin, DergiPark veri tabanları üzerinden gerçekleştirilmiş; dahil edilme ve dışlanma kriterlerine uygun çalışmalar seçilmiştir. Bulgular, düzenli ve orta şiddette fiziksel aktivitenin gestasyonel diyabet, hipertansiyon ve aşırı gestasyonel kilo artışı riskini azalttığını, yaşam kalitesini artırdığını ve fetal/neonatal sonuçları olumlu etkilediğini göstermektedir. Türkiye’deki çalışmalar, fiziksel aktivite katılım oranlarının uluslararası literatüre göre düşük olduğunu, yürüyüş ve hafif egzersizlerin daha yaygın olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, gebelik bakım programlarına fiziksel aktivitenin entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gebelik, Fiziksel Aktivite, Maternal Sağlık, Fetal Sağlık

ABSTRACT

Pregnancy is a critical period for both maternal and fetal health. In this process where many physical, mental and social changes occur, the mother's lifestyle, especially physical activity levels, has important effects on both maternal and fetal health. This systematic review aimed to evaluate the effects of physical activity during pregnancy on maternal and fetal health by examining international and Turkish studies published between 2015 and 2025. Literature searches were conducted in PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, TRDizin,

DergiPark, and Ulakbim databases, and studies meeting the inclusion and exclusion criteria were selected. The findings indicate that regular and moderate-intensity physical activity reduces the risk of gestational diabetes, hypertension, and excessive gestational weight gain, improves maternal quality of life, and positively affects fetal/neonatal outcomes. Studies conducted in Turkey show that physical activity participation rates are lower compared to international data, with walking and light exercises being the most commonly practiced activities. These results highlight the importance of integrating physical activity into prenatal care programs.

Keywords: Pregnancy, Physical Activity, Maternal Health, Fetal Health

GİRİŞ

Gebelik doğal bir olay olmasına rağmen, anne organizmasında önemli anatomik, fizyolojik ve psikolojik değişikliklere neden olur. Döllenmeden hemen sonra başlayan ve gebelik boyunca devam eden bu değişiklikler, hem annenin hem de fetüsün sağlığını en iyi şekilde sürdürmek, metabolik gereklerini karşılamak ve doğum eylemi için gerekli anatomik değişiklikleri sağlamak amacıyla oluşur (Fenkçi, 2004). Gebelik, maternal yapıda kardiyovasküler, metabolik ve hormonal sistemlerde kapsamlı olarak birçok değişimin yaşandığı, fetüs gelişimi açısından kritik ve önemli bir dönemdir. Bu süreçte annenin yaşam tarzı ve sağlık davranışları özellikle fiziksel aktivite hem maternal sağlık hem de fetal sonuçlar üzerinde önemli etkilere sahiptir (Oruk, 2023). Sağlıklı beslenme yaşamın her döneminde önemli olduğu gibi gebelik döneminde de önemlidir (Nash ve ark., 2013). Gebelik döneminde yeterli ve dengeli beslenme annenin sağlığı ve fetüsün normal gelişimi için kritik bir dönemdir (Morrison ve Regnault, 2016). Bu dönemde annenin normal metabolizması üzerine fetüsün bedensel ve mental büyüme ve gelişiminin eklenmesi ile beslenme gereksinimleri daha da artmaktadır (Samur, 2016). Uluslararası literatürde yapılan sistematik incelemeler, gebelikte düzenli ve orta yoğunlukta fiziksel aktivitenin gestasyonel diyabet, hipertansiyon ve aşırı gestasyonel kilo artışı gibi olumsuz maternal sonuçları azaltabileceğini göstermektedir (Davenport ve ark., 2021). Bununla birlikte, fiziksel aktivitenin fetüs üzerindeki olumsuz etkileri minimal olup, bazı neonatal sağlık parametrelerinde olumlu etkiler sağladığı belirtilmiştir (Davenport ve ark., 2021; Santa Cruz ve ark., 2025).

Son yıllarda yürütülen uluslararası epidemiyolojik çalışmalar, gebelik boyunca düzenli fiziksel aktivitenin anne refahı, doğum şekli ve neonatal sonuçlar üzerinde olumlu etkiler sağladığını ortaya koymuştur (Majewska ve Szablewska, 2025). Ancak genel olarak fiziksel

aktivite düzeylerinin düşük olması, perinatal sonuçlar açısından potansiyel riskler oluşturmaktadır (Majewska ve Szablewska, 2025). Türkiye’de yapılan derleme ve müdahale çalışmalarında da benzer eğilimler gözlenmiştir. Oruk (2023) tarafından yürütülen literatür derlemesine göre, Türkiye’de gebelik döneminde yürüyüş, nefes egzersizleri ve hafif kuvvetlendirme egzersizleri en yaygın aktiviteler olmakla birlikte düzenli fiziksel aktivite katılım oranları düşüktür. Ayrıca, Yıldız ve arkadaşları (2025) tarafından yapılan 6 haftalık planlı egzersiz müdahalesi, gebelerde kas-iskelet ağrılarını azaltmış ve yaşam kalitesini artırmıştır. COVID-19 dönemi sırasında Türkiye’de yürütülen bir çalışmada ise gebelerin büyük çoğunluğunun düşük yoğunluklu aktivitelerle sınırlı kaldığı ve fiziksel aktivite seviyelerinin gebelik öncesine kıyasla azaldığı rapor edilmiştir (Altaş ve ark., 2023). Bu bağlamda, gebelikte fiziksel aktiviteye yönelik uluslararası ve Türkiye kaynaklı çalışmalar, hem anne hem de fetüs sağlığı üzerindeki etkileri ve uygulama düzeylerini ortaya koymaktadır. Bu makale, 2015–2025 dönemindeki uluslararası ve Türkiye çalışmalarını değerlendirerek, gebelikte fiziksel aktivitenin anne ve fetüs sağlığı üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır.

YÖNTEM

Araştırma Deseni

Bu çalışma, 2015–2025 yılları arasında gebelikte fiziksel aktivitenin anne ve fetüs sağlığı üzerindeki etkilerini inceleyen uluslararası ve Türkiye çalışmalarını değerlendiren sistematik derleme niteliğindedir. Sistematik derleme yaklaşımı, literatürdeki kanıtları derli toplu ve eleştirel bir biçimde sunmak amacıyla tercih edilmiştir (Davenport ve ark., 2021; Oruk, 2023). Çalışma süreci PRISMA yönergelerine uygun olarak yürütülmüştür (Moher ve ark., 2009).

Veri Kaynakları ve Arama Stratejisi

Literatür taraması Ocak 2015 – Ocak 2025 tarihleri arasında yapılmış ve PubMed, Web of Science, Google Scholar gibi uluslararası veri tabanları ile Türkiye çalışmalarını kapsayan TRDizin, DergiPark ve Ulakbim veri tabanları kullanılmıştır. Anahtar kelimeler: “pregnancy”, “physical activity”, “exercise”, “maternal health”, “fetal outcomes”, “gestational diabetes”, “gestational hypertension”, “Turkey”, “Türkiye”, “gebelik”, “fiziksel aktivite”, “egzersiz”. Boolean operatörleri ile arama formülü: (“pregnancy” AND “physical activity”) AND (“maternal outcomes” OR “fetal outcomes”).

Dahil Edilme ve Dışlanma Kriterleri

1. 2015–2025 yılları arasında yayımlanmış olmak,
2. Gebelikte fiziksel aktivitenin anne veya fetus sağlığı üzerindeki etkilerini incelemek,
3. İngilizce veya Türkçe yayımlanmış olmak,
4. Gözlemsel, deneysel veya sistematik derleme/meta-analiz çalışmaları,
5. Anne veya fetal sağlık sonuçlarını raporlamak.

Dışlama Kriterleri

1. Fiziksel aktivite dışındaki yaşam tarzı faktörlerine odaklanan çalışmalar,
2. Gebelik dışı popülasyonu kapsayan çalışmalar,
3. Konferans özeti veya tam metnine ulaşılamayan yayınlar,
4. Spor yaralanmalarına odaklanan çalışmalar.

Veri Toplama ve Seçim Süreci

Çalışmalar araştırmacı tarafından bağımsız olarak taranmış; başlık ve özet taraması sonrası tam metin incelemesi yapılmıştır. Çalışmaların metodolojik özellikleri, örneklem büyüklüğü, fiziksel aktivite türü ve yoğunluğu, anne-fetus sonuçları tablolar hâlinde düzenlenmiştir (Altaş ve ark., 2023; Yıldız ve ark., 2025).

Veri Analizi

Seçilen çalışmaların heterojen yapısı nedeniyle meta-analiz yapılmamış; bulgular tematik olarak sentezlenmiştir. Uluslararası çalışmalar (Davenport ve ark., 2021; Santa Cruz ve ark., 2025) ve Türkiye’de yapılan çalışmalar (Oruk, 2023; Yıldız ve ark., 2025; Altaş ve ark., 2023) ayrı başlıklar altında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, *maternal sağlık, fetal/neonatal sonuçlar ve fiziksel aktivite tür-şiddet ilişkisi* ekseninde sınıflandırılmıştır.

BULGULAR

Bu bölümde sistematik derlemeye dahil edilen araştırmaların yazar, yayın yılı, amaç ve sonuçlar açısından genel özelliklerine ilişkin betimleyici bilgiler verilmiştir.

No	Yazarlar	Yayın Yılı	Amaç	Sonuçlar
1	Davenport ve ark.,	2021	Gebelikte farklı fiziksel aktivite türlerinin maternal ve fetal sağlık sonuçlarına etkilerini sistematik olarak incelemek	Düzenli ve orta şiddette fiziksel aktivite, gestasyonel diyabet ve hipertansiyon riskini azalttı; fetal/neonatal sonuçlar üzerinde olumlu etkiler gözlemlendi
2	MohdNor ve ark.,	2025	Gebelikte yapılandırılmış egzersiz programlarının maternal ve fetal sonuçlara etkilerini değerlendirmek	Yapılandırılmış egzersizlerin maternal sağlık ve doğum sonuçlarını iyileştirdiği, güvenli olduğu belirlendi
3	Oruk	2023	Türkiye’de gebelik döneminde fiziksel aktivite ve egzersiz uygulamalarını incelemek	Türkiye’de yürüyüş, nefes egzersizleri ve hafif kuvvetlendirme egzersizleri yaygın; düzenli fiziksel aktivite katılımı düşük
4	Altaş ve ark.,	2023	COVID-19 dönemi Türkiye’de gebelerin fiziksel aktivite düzeylerini ve etkileyen faktörleri incelemek	Gebelerin çoğunluğu düşük yoğunluklu aktivitelerle sınırlı kaldı; fiziksel aktivite seviyeleri azaldı
5	Yıldız ve ark.,	2025	Gebelerde planlı egzersiz programının kas-iskelet ağrıları ve yaşam kalitesi üzerine etkisini incelemek	6 haftalık egzersiz müdahalesi, ağrıları azalttı ve yaşam kalitesini artırdı
6	Santa Cruz ve ark.,	2025	Gebelikte egzersiz temelli müdahalelerin gestasyonel diyabet önlenmesindeki etkilerini meta-analiz etmek	Egzersiz temelli müdahaleler, gestasyonel diyabet riskini azalttı; maternal ve fetal sonuçlar üzerinde olumlu etkiler sağladı
7	Majewska ve Szablewska	2025	Gebelikte fiziksel aktivite ile maternal ve neonatal sonuçlar arasındaki ilişkiyi epidemiyolojik olarak incelemek	Düzenli fiziksel aktivite, doğum şekli, neonatal sağlık ve maternal refah üzerinde olumlu etkiler sağladı

2015–2025 döneminde yapılan çalışmaların incelenmesi sonucunda, gebelikte fiziksel aktivite düzeyleri ve anne-fetal sağlık sonuçlarına ilişkin bazı belirgin bulgular elde edilmiştir. Uluslararası literatürde, düzenli ve orta şiddette fiziksel aktivitenin gestasyonel diyabet riskini azalttığı, gestasyonel hipertansiyonu önlediği ve doğum süresini olumlu etkilediği gösterilmiştir (Davenport ve ark., 2021; Santa Cruz ve ark., 2025). Ayrıca, fiziksel aktivite uygulamalarının düşük doğum ağırlığı veya erken doğum riskini artırmadığı ve bazı neonatal parametrelerde olumlu etki sağladığı belirtilmiştir (Majewska ve Szablewska, 2025). Türkiye’de yapılan çalışmalar da benzer bulgular göstermektedir. Oruk (2023) tarafından

yapılan literatür derlemesine göre, yürüyüş ve nefes egzersizleri en yaygın aktiviteler olmakla birlikte, düzenli fiziksel aktivite katılım oranları düşüktür. Yıldız ve ark., (2025) tarafından yürütülen 6 haftalık planlı egzersiz müdahalesinde, gebelerde kas-iskelet ağrılarında azalma ve yaşam kalitesinde artış gözlenmiştir. COVID-19 dönemi sırasında Altaş ve ark., (2023) tarafından yapılan çalışmada ise gebelerin çoğunluğunun düşük yoğunluklu aktivitelerle sınırlı kaldığı ve fiziksel aktivite seviyelerinin gebelik öncesine göre azaldığı bildirilmiştir. Genel olarak, hem uluslararası hem de Türkiye kaynaklı çalışmalar, gebelikte düzenli fiziksel aktivitenin anne sağlığı ve fetal/neonatal sonuçlar üzerinde olumlu etkiler taşıdığını ortaya koymaktadır. Ancak katılım oranlarının düşük olması ve fiziksel aktiviteyi etkileyen sosyal-kültürel faktörler, uygulamaların yaygınlaşmasını sınırlamaktadır.

TARTIŞMA

Bu sistematik derleme bulguları, gebelikte fiziksel aktivitenin anne ve fetus sağlığı üzerinde yararlı etkiler sağladığını ortaya koymaktadır. Uluslararası literatür, düzenli fiziksel aktivitenin gestasyonel diyabet, hipertansiyon ve aşırı gestasyonel kilo artışı riskini azalttığını göstermektedir (Davenport ve ark., 2021; Santa Cruz ve ark., 2025). Türkiye’den elde edilen veriler de benzer şekilde, egzersiz uygulamalarının gebelerde yaşam kalitesini artırdığını ve kas-iskelet ağrılarını azalttığını ortaya koymuştur (Yıldızve ark., 2025; Oruk, 2023). Ancak bulgular, Türkiye’de fiziksel aktivite katılımının uluslararası literatüre kıyasla düşük olduğunu göstermektedir. Sosyo-kültürel faktörler, bilgi eksikliği ve sağlık hizmetlerinin yönlendirme eksikliği, katılım düzeyini sınırlayan başlıca etkenler olarak öne çıkmaktadır (Altaş ve ark., 2023). Bu durum, yerel rehberlerin geliştirilmesi ve gebelerin fiziksel aktiviteye yönlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, farklı çalışmaların metodolojik heterojenliği (örneklem büyüklüğü, egzersiz türü ve süresi) nedeniyle sonuçlar doğrudan karşılaştırılamamaktadır. Gelecek araştırmalarda, standartlaştırılmış egzersiz protokollerinin kullanılması ve uzun dönem takiplerin yapılması önerilmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Gebelikte düzenli fiziksel aktivite, anne sağlığı (gestasyonel diyabet, hipertansiyon, yaşam kalitesi) ve fetal/neonatal sonuçlar üzerinde olumlu etkiler sağlamaktadır (Davenport ve ark., 2021; Santa Cruz ve ark., 2025; Yıldız ve ark., 2025). Türkiye’de fiziksel aktivite katılım oranları uluslararası literatüre kıyasla düşüktür; yürüyüş ve hafif egzersizler daha yaygın tercih edilmektedir (Oruk, 2023; Altaş ve ark., 2023). Gebelerin fiziksel aktiviteye yönlendirilmesi,

yerel sağlık rehberlerinin geliştirilmesi ve standart egzersiz protokollerinin uygulanması gerekmektedir. Bu bulgular, hem anne hem de fetüs sağlığını desteklemek için gebelik bakım programlarına fiziksel aktivitenin entegre edilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda;

1. Gebelik bakım hizmetleri kapsamında fiziksel aktivitenin rutin bir bileşen olarak ele alınması, sağlık profesyonellerinin gebeleri güvenli ve uygun egzersiz türleri konusunda bilgilendirmesi ve yönlendirmesi önerilmektedir.
2. Türkiye'nin sosyo-kültürel yapısı dikkate alınarak, erişilebilir ve uygulanabilir yerel fiziksel aktivite rehberleri geliştirilmeli; özellikle yürüyüş temelli ve düşük-orta şiddette egzersizleri içeren, standartlaştırılmış protokoller yaygınlaştırılmalıdır.
3. Gebelerin fiziksel aktiviteye katılımını artırmak amacıyla eğitim programları, farkındalık çalışmaları ve uzun dönemli, yüksek metodolojik kaliteye sahip araştırmaların desteklenmesi önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- Altaş, Z. M., Lülecı, N. E., & Hıdıroğlu, S. (2023). Evaluation of physical activity level and related factors in pregnancy during the COVID-19 period. *International Journal of Public Health*.
- Davenport, M. H., Giroux, I., Mottola, M. F., Gruslin, A., Skow, R. J., Meah, V. L., ... & Ruchat, S.-M. (2021). Effects on the maternal–fetal health outcomes of various physical activity types in healthy pregnant women: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 224(1), 42.e1–42.e18. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2020.07.046>
- Fenkçi İ.V. Maternal fizyoloji. In Çiçek MN, eds. Kadın Hastalıkları ve Doğum Bilgisi. Ankara: Öncü Basımevi; 2004.ss 161-169.
- Majewska, P., & Szablewska, A. (2025). Associations between physical activity in pregnancy and maternal, perinatal, and neonatal parameters: A single-center prospective cohort study. *Journal of Clinical Medicine*, 14(7), 2325.
- MohdNor, F. H., Jamani, N. A., & AbdAziz, K. H. (2025). Impact of structured physical exercise during pregnancy on maternal health and fetal outcomes: a systematic review. *The Medical journal of Malaysia*, 80(4), 508-520.

- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G. & The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses: The PRISMA Statement. *Annals Int Med*, 151:264-269.
- Morrison, J. L., & Regnault, T. R. Nutrition in pregnancy: optimising maternal diet and fetal adaptations to altered nutrient supply. *Nutrients*, 2016; 8(6), 342.
- Nash, D. M., Gilliland, J. A., Evers, S. E., Wilk, P., & Campbell, M. K. Determinants of diet quality in pregnancy: sociodemographic, pregnancy-specific, and food environment influences. *Journal of nutrition education and behavior*, 2013;45(6), 627- 634.
- Oruk, D. Ö. (2023). Türkiye’de gebelik döneminde fiziksel aktivite ve egzersiz: Bir literatür derlemesi. *Anadolu Kliniği Tıp Bilimleri Dergisi*, 28(3), 425–432. <https://doi.org/10.21673/anadoluklin.1211698>
- Samur, G. Gebelik ve emzicilik döneminde beslenme. Sağlık Bakanlığı Yayın, 2008; (726).
- Santa Cruz, T. E., Sarasqueta, C., Muruzábal, J. C., et al. (2025). A systematic review and meta-analysis of exercise-based intervention to prevent gestational diabetes in women with overweight or obesity. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 25, 5. <https://doi.org/10.1186/s12884-024-07021-w>
- Yıldız, A., Fidan, Ö., Tarnı, T., Aktaş, B., & Tanrıkulu, Y. (2025). The effect of an exercise programme for a healthy pregnancy. *Medical Journal of Bakırköy*, 21(3), 232–239.

FİZİKSEL AKTİVİTENİN OTİZM SPEKTRUM BOZUKLUĞU OLAN BİREYLERİN İNCE MOTOR BECERİLERİNE ETKİSİ

Sibel YAKUT

İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor ABD
alpsibel44@gmail.com -0009-0000-2250-5550

Doç. Dr. Nurkan YILMAZ

İnönü Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi
nurkan.yilmaz@inonu.edu.tr - 0000-0002-8845-7093

Doç. Dr. Yahya DOĞAR

İnönü Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi
yahya.dogar@inonu.edu.tr - 0000-0002-1068-2266

ÖZET

Otizm Spektrum Bozuklukları (OSB), toplumsal iletişim ve etkileşimde zayıflıklar ile sınırlı, tekrarlayan davranışlar, ilgi alanları veya etkinlikler gibi sorunları içeren önemli bir çocukluk dönemi nörogelişimsel bozukluğudur. Fiziksel aktivite, özellikle planlı ve tekrarlı uygulamalar yoluyla kas kontrolünü, el-göz koordinasyonunu ve hassas hareket becerilerini geliştirerek ince motor becerilerin gelişimine olumlu katkı sağlar. Bu bildirinin amacı, OSB tanısı almış bireylerde fiziksel aktivitenin ince motor beceriler üzerindeki etkisini incelemektir. Çalışmada yöntem olarak, ulusal ve uluslararası araştırmalar sistematik olarak incelenmiş, fiziksel aktivite ile ince motor beceriler arasındaki ilişki çok boyutlu olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelere göre, OSB'li bireylerde motor gelişim alanında sıklıkla gecikmeler ve koordinasyon güçlükleri görülmekte; bu durum bireylerin günlük yaşam aktivitelerine katılımını ve bağımsızlık düzeylerini sınırlamaktadır. Dolayısıyla, son yıllarda fiziksel aktivite temelli müdahalelerin motor, bilişsel ve sosyal gelişim üzerindeki etkileri araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Türkiye'de yapılan çalışmalar, fiziksel aktivite programlarının motor beceri gelişimi üzerinde genellikle olumlu etkiler oluşturduğunu ortaya koyarken, uluslararası literatürde yer alan meta-analizlerde bulguların kısmen farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu farklılıklar; çalışma tasarımı, örneklem büyüklüğü ve müdahale türlerindeki çeşitlilikle açıklanmaktadır. Bu derleme, fiziksel aktivitenin OSB'li bireylerin ince motor becerileri üzerinde olumlu etkiler sağladığını, özellikle erken yaşta uygulanan düzenli ve yapılandırılmış programların motor gelişimi desteklediğini ve Türkiye'deki bulguların uluslararası literatürle büyük ölçüde örtüştüğünü ortaya koymaktadır. Bu bulgular doğrultusunda, OSB'li bireylerde ince motor becerilerin geliştirilmesine yönelik olarak yapılandırılmış fiziksel aktivite

programlarını temel alan, el-göz koordinasyonu ve motor planlamayı hedefleyen, daha büyük örneklemli ve uzun süreli deneysel çalışmaların planlanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Otizm, Fiziksel Aktivite, İnce Motor Beceriler, Motor Gelişim.

THE EFFECT OF PHYSICAL ACTIVITY ON FINE MOTOR SKILLS OF INDIVIDUALS WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER

ABSTRACT

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a significant childhood neurodevelopmental disorder characterized by weaknesses in social communication and interaction, as well as problems with limited, repetitive behaviors, interests, or activities. Physical activity, particularly through planned and repetitive practices, positively contributes to the development of fine motor skills by improving muscle control, hand-eye coordination, and precise movement skills. The aim of this paper is to examine the effect of physical activity on fine motor skills in individuals diagnosed with ASD. The study method involved a systematic review of national and international research, and a multidimensional assessment of the relationship between physical activity and fine motor skills. According to these assessments, individuals with ASD frequently experience delays in motor development and coordination difficulties; this limits their participation in daily living activities and their level of independence. Therefore, in recent years, the effects of physical activity-based interventions on motor, cognitive, and social development have attracted the attention of researchers. While studies conducted in Turkey generally show positive effects of physical activity programs on motor skill development, findings in meta-analyses in the international literature show some differences. These differences include: This is explained by the diversity in study design, sample size, and intervention types. This review reveals that physical activity has positive effects on the fine motor skills of individuals with ASD, that regular and structured programs applied at an early age support motor development, and that the findings in Turkey largely coincide with the international literature. In line with these findings, it is recommended that larger sample and long-term experimental studies be planned for individuals with ASD, focusing on structured physical activity programs aimed at improving fine motor skills, hand-eye coordination, and motor planning.

Keywords: Autism, Physical Activity, Fine Motor Skills, Motor Development.

1. GİRİŞ

Otizm Spektrum Bozuklukları (OSB), toplumsal iletişim ile toplumsal etkileşimde yetersizlik ve sınırlı, tekrarlayıcı davranışlar, ilgiler ya da etkinlikler alanlarında görülen sorunlardan oluşan çocukluk çağına önemli nörogelişimsel bozukluklarından (Kadak ve Meral, 2019). OSB, erken çocukluk döneminde ortaya çıkan ve yaşam boyu devam eden nörogelişimsel bir bozukluk olarak da tanımlanabilir. Yapılan araştırmalar, OSB'nin yalnızca sosyal ve iletişimsel alanlarla sınırlı olmadığını, aynı zamanda motor gelişim alanında da belirgin güçlükler içerdiğini göstermektedir (Fournier et al., 2010). OSB'li bireylerde ince

motor beceriler, el-göz koordinasyonu, nesne manipölasyonu, yazma, kesme, düğme ilikleme gibi günlük yaşam becerileri açısından kritik öneme sahiptir. Bu becerilerde yaşanan yetersizlikler, bireyin akademik performansını, öz bakım becerilerini ve sosyal katılımını olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Lloyd et al., 2013). Türkiye literatüründe de OSB’li çocukların motor becerilerde yaşlılarına göre geride kaldıkları bildirilmiştir (Çelik ve Buğday, 2022). Fiziksel aktivite; kas kuvveti, koordinasyon, denge ve motor planlama gibi birçok motor bileşeni destekleyen bir araç olarak görülmektedir. Ancak OSB’li bireylerin fiziksel aktiviteye katılım oranlarının düşük olması, motor gelişim açısından risk oluşturmaktadır (Pan, 2008). Bu derlemenin amacı, fiziksel aktivitenin OSB’li bireylerin özellikle ince motor becerileri üzerindeki etkilerini mevcut bilimsel veriler ışığında ayrıntılı biçimde değerlendirmektir.

2. YÖNTEM

Bu derleme çalışmasında ulusal ve uluslararası literatür taraması yapılmıştır. Türkiye kaynakları için DergiPark, YÖK Ulusal Tez Merkezi ve üniversitelerin açık erişim arşivleri; uluslararası kaynaklar için PubMed, Google Scholar, ResearchGate ve MDPI veri tabanları kullanılmıştır. “Otizm Spektrum Bozukluğu”, “fiziksel aktivite”, “motor beceri”, “ince motor beceri”, “physical activity and autism” anahtar kelimeleriyle tarama yapılmıştır. Deneysel, yarı deneysel ve sistematik derleme çalışmaları dahil edilmiştir.

3. BULGULAR

İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğu, fiziksel aktivitenin OSB’li bireylerde motor beceri gelişimini desteklediğini göstermektedir. Özellikle:

- Yapılandırılmış fiziksel aktivite programları ince motor becerilerde olumlu gelişmeler sağlamaktadır (Bremer et al., 2016; Öz, 2020).
- Fiziksel aktivite, el-göz koordinasyonu ve motor planlama süreçlerini desteklemektedir (Papasideri ve Chatziioannou, 2025).
- Türkiye’de yapılan uygulamalı çalışmalar, fiziksel aktivitenin motor beceri gelişimi üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğunu göstermektedir (Şansi, 2019).

Ancak uluslararası meta-analizlerde etkilerin büyüklüğü konusunda farklı sonuçlar elde edilmiş; bu durum çalışma tasarımı, örneklem büyüklüğü ve müdahale türlerindeki farklılıklara bağlanmıştır (Ruggeri et al., 2020). Çizelge 1’de OSB, fiziksel aktivite ve ince motor beceriler arasındaki ilişkiyi hem temel tanımlayıcı çalışmalar hem de müdahale temelli araştırmalar üzerinden bütüncül biçimde ortaya koymaktadır. Çizelge, literatürdeki bulguların kavramsal gelişimini, yöntemsel çeşitliliğini ve uygulamaya dönük sonuçlarını açıkça göstermektedir. Çizelge ile ilgili detaylı değerlendirmelere aşağıda yer verilmiştir.

Çizelge 1. Literatürdeki fiziksel aktivitenin otizm spektrum bozukluğu olan bireylerin ince motor becerilerine etkisini inceleyen çalışmalar

Yazar(lar)	Yıl	Çalışmanın Adı	Yöntem	Örneklem	Temel Bulgular / Sonuçlar

Fournier, K. A., Hass, C. J., Naik, S. K., Lodha, N., & Cauraugh, J. H.	2010	Motor Coordination in Autism Spectrum Disorders	Karşılaştırmalı nicel çalışma	OSB'li ve tipik gelişim gösteren çocuklar	OSB'li çocukların motor koordinasyon ve ince motor becerilerinin anlamlı düzeyde düşük olduğu bulunmuştur.
Provost, B., Heimerl, S., & Lopez, B. R.	2007	Levels of Gross and Fine Motor Development in Young Children with Autism Spectrum Disorder	Tarama modeli	OSB'li küçük çocuklar	OSB'li çocukların ince motor gelişim puanları tipik gelişim gösteren akranlarına göre daha düşüktür.
Bremer, E., Crozier, M., & Lloyd, M.	2016	Effect of Physical Activity on Motor Skills in Children with ASD	Derleme	—	Fiziksel aktivitenin motor koordinasyon, kas gücü ve motor planlamayı desteklediği vurgulanmıştır.
Lang, R., vd.	2010	Physical Exercise and Individuals with Autism Spectrum Disorders	Deneysel / müdahale çalışmaları incelemesi	OSB'li bireyler	Yapılandırılmış fiziksel aktivite programlarının motor beceriler üzerinde olumlu etkileri olduğu gösterilmiştir.
Papasideri, V., & Chatziioannou, C.	2025	Effects of Yoga and Movement-Based Activities on Motor Skills in Children with ASD	Deneysel	OSB'li çocuklar	Yoga ve hareket temelli aktivitelerin motor planlama ve ince motor kontrolü geliştirdiği bulunmuştur.
Pan, C. Y.	2010	Effects of Physical Activity on Motor Skills in Children with Autism	Deneysel	OSB'li çocuklar	Düzenli fiziksel aktiviteye katılım motor performansta anlamlı gelişme sağlamıştır.

Ruggeri, A., vd.	2020	Physical Activity Interventions in Autism: A Meta-Analysis	Meta- analiz	Çeşitli çalışmalar	Fiziksel aktivitenin motor koordinasyon üzerindeki etkilerinin düşük- orta düzeyde olduğu rapor edilmiştir.
Öz, A.	2021	Oyunlaştırılmış Fiziksel Aktivite Programının OSB’li Çocukların Motor Becerilerine Etkisi	Deneysel	OSB’li çocuklar	Oyun temelli fiziksel aktivitelerin temel motor becerileri geliştirdiği saptanmıştır.
Şansi, E.	2019	Bütünleşik Fiziksel Aktivite Programlarının Otizmlili Çocuklar Üzerindeki Etkisi	Deneysel	OSB’li çocuklar	Motor beceriler ve sosyal becerilerde anamlı gelişmeler elde edilmiştir.
Özakın, S.	2018	Proprioseptif Duyu Bütünleme Eğitiminin Motor ve Duyusal Becerilere Etkisi	Deneysel	Otizmlili çocuklar	BOMYT-2 alt testleri ve duyu profilinde olumlu değişimler gözlenmiştir.

Çizelgede yer alan Fournier ve arkadaşları (2010) ile Provost, Heimerl ve Lopez (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar, OSB’li bireylerde motor yetersizliklerin temel ve yaygın bir özellik olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, motor yetersizliklerin OSB’nin ikincil değil, gelişimin erken dönemlerinden itibaren gözlenen temel bir bileşeni olduğunu düşündürmektedir. Bremer, Crozier ve Lloyd (2016) ile Lang ve arkadaşları (2010), fiziksel aktivitenin OSB’li bireylerde motor gelişimi destekleyici rolünü kuramsal ve uygulamalı açıdan ele almaktadır. Bu çalışmalar, fiziksel aktivitenin yalnızca genel sağlık için değil, motor öğrenme ve beceri gelişimi açısından da terapötik bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Pan (2010) ile Papasideri ve Chatziioannou (2025) tarafından yürütülen deneysel çalışmalar, fiziksel aktivitenin doğrudan uygulama sonuçlarını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, fiziksel aktivite türünün çeşitlendirilmesinin (yoga, hareket temelli egzersizler vb.) motor gelişimi farklı boyutlarda destekleyebileceğini göstermektedir. Ruggeri ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan meta-analiz, literatürdeki bulgulara eleştirel bir bakış sunmaktadır.

Bu bulgu, fiziksel aktivite programlarının etkisini artırmak için daha uzun süreli, standartlaştırılmış ve iyi planlanmış müdahalelere ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır. Öz (2021), Şansi (2019) ve Özakin (2018) tarafından yürütülen çalışmalar, Türkiye’de fiziksel aktivite temelli müdahalelerin uygulama alanında güçlü sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu çalışmalar, fiziksel aktivitenin çok boyutlu (motor–duyusal–sosyal) gelişimi destekleyen bir müdahale aracı olduğunu göstermektedir.

Çizelgeyi genel olarak değerlendirecek olursak;

- OSB’li bireylerde ince motor ve motor koordinasyon yetersizliklerinin yaygın olduğu,
- Fiziksel aktivite temelli müdahalelerin bu yetersizlikleri azaltmada etkili olduğu,
- Ancak müdahale etkilerinin program süresi, içeriği ve bireyselleştirme düzeyine bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

Bu bağlamda, çalışmalar, fiziksel aktivitenin OSB’li bireylerde ince motor becerilerin geliştirilmesinde bilimsel temele dayalı, destekleyici ve uygulanabilir bir yaklaşım olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, fiziksel aktivitenin OSB olan bireylerin ince motor becerileri üzerindeki etkileri, literatürde yer alan tanımlayıcı ve müdahale temelli çalışmalar ışığında değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, OSB’li bireylerde motor beceri yetersizliklerinin yaygın olduğunu ve fiziksel aktivite temelli müdahalelerin bu yetersizliklerin azaltılmasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Çizelge 1’de yer alan Fournier ve arkadaşları (2010) ile Provost, Heimerl ve Lopez (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar, OSB’li çocukların motor koordinasyon ve ince motor becerilerinin tipik gelişim gösteren akranlarına kıyasla anlamlı düzeyde düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, motor yetersizliklerin OSB’ye eşlik eden ikincil bir durumdan ziyade, bozukluğun erken gelişim dönemlerinden itibaren gözlenen temel bir özellik olduğunu düşündürmektedir. Bu durum, motor becerilere yönelik müdahalelerin erken çocukluk döneminde ele alınmasının önemini vurgulamaktadır.

Fiziksel aktivitenin motor gelişim üzerindeki etkileri uzun yıllardır araştırılmaktadır. OSB’li bireylerde fiziksel aktivite; motor koordinasyon, kas gücü, denge ve motor planlama becerilerini destekleyebilmektedir (Bremer, et al., 2016). Özellikle yapılandırılmış ve uyarlanmış fiziksel aktivite programlarının motor beceriler üzerinde olumlu etkileri olduğu bildirilmiştir (Lang et al., 2010). Papasideri & Chatzioannou, (2025), yoga ve hareket temelli fiziksel aktivitelerin OSB’li çocuklarda motor planlama ve ince motor kontrol üzerinde olumlu etkiler yarattığını belirtmiştir. Benzer şekilde Pan (2008), düzenli fiziksel aktiviteye katılan OSB’li çocukların motor performanslarında anlamlı gelişmeler olduğunu göstermiştir. Buna karşın bazı meta-analiz çalışmalarında, fiziksel aktivitenin motor koordinasyon üzerindeki etkilerinin sınırlı ya da orta düzeyde olduğu rapor edilmiştir. Özellikle örneklem büyüklüklerinin küçük olması ve müdahale sürelerinin farklılık göstermesi sonuçların tutarlılığını azaltmaktadır (Ruggeri et al., 2020).

Türkiye’de yürütülen tez ve makalelerde fiziksel aktivite temelli müdahalelerin OSB’li çocukların motor becerileri üzerinde olumlu etkileri olduğu görülmektedir. Öz (2021), oyunlaştırılmış fiziksel aktivite programının OSB’li çocukların temel motor becerilerini geliştirdiğini ortaya koymuştur. Şansi (2019) tarafından yapılan çalışmada, bütünlük fiziksel aktivite programlarının motor beceri ve sosyal beceriler üzerinde anlamlı gelişme sağladığı

belirtilmiştir. Özakin (2018), Otizmlı çocuklarda uyguladığımız proprioseptif duyu bütünleme eğitiminin duyu profili ve BOMYT2 testinin alt parametrelerini etkilediği rapor etmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızda, fiziksel aktivitenin otizm spektrum bozukluğu (OSB) olan bireylerin ince motor becerileri üzerindeki etkileri, ulusal ve uluslararası literatürde yer alan tanımlayıcı, deneysel ve derleme çalışmalar doğrultusunda incelenmiştir. İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğu, OSB'li bireylerde ince motor beceriler ve motor koordinasyon alanlarında belirgin yetersizliklerin bulunduğunu ortaya koymaktadır (Fournier et al., 2010; Provost et al., 2007). Elde edilen bulgular, bu yetersizliklerin OSB'ye eşlik eden ikincil sorunlar olmaktan ziyade, gelişimin erken dönemlerinden itibaren gözlenen temel bir özellik olduğunu göstermektedir.

Literatür bulguları, fiziksel aktivite temelli müdahalelerin OSB'li bireylerin ince motor becerilerinin geliştirilmesinde etkili bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle yapılandırılmış, planlı ve hedefe yönelik fiziksel aktivite programlarının; el-göz koordinasyonu, motor planlama ve ince motor kontrol üzerinde olumlu etkiler sağladığı belirlenmiştir (Bremer et al., 2016; Lang et al., 2010; Pan, 2010). Yoga, oyun temelli aktiviteler ve hareket odaklı egzersizlerin motor gelişimi desteklemesi, fiziksel aktivite türlerinin çeşitlendirilmesinin müdahale etkililiğini artırabileceğini göstermektedir (Papasideri & Chatziioannou, 2025; Öz, 2021). Bununla birlikte, meta-analiz çalışmalarında bildirilen etki büyüklüklerinin düşük ile orta düzey arasında değişmesi, fiziksel aktivite müdahalelerinin her koşulda aynı düzeyde etki göstermediğine işaret etmektedir (Ruggeri et al., 2020). Bu durum, müdahale süresi, uygulama sıklığı, program içeriği ve bireyselleştirme düzeyi gibi değişkenlerin fiziksel aktivitenin etkililiğinde belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır. Türkiye'de yürütülen uygulamalı çalışmaların daha güçlü ve çok boyutlu sonuçlar ortaya koyması ise kültürel bağlama uygun, oyunlaştırılmış ve bütünleşik programların müdahale başarısını artırabileceğini düşündürmektedir (Şansi, 2019; Özakin, 2018).

Genel olarak bu çalışmanın sonuçları, fiziksel aktivitenin OSB'li bireylerin ince motor becerilerinin geliştirilmesinde bilimsel temele dayalı, destekleyici ve uygulanabilir bir müdahale yaklaşımı olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda uygulama, araştırma ve politika geliştirme alanlarına yönelik aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

- 1. Uygulamaya Yönelik Öneriler:** OSB'li bireyler için hazırlanan eğitim ve rehabilitasyon programlarına, yapılandırılmış fiziksel aktivite uygulamalarının sistematik biçimde entegre edilmesi önerilmektedir (Bremer et al., 2016; Lang et al., 2010). Fiziksel aktivite programlarının, bireylerin gelişim düzeyleri, ilgi alanları ve duysal özellikleri dikkate alınarak bireyselleştirilmesi, müdahale etkililiğini artırabilir (Pan, 2010). Oyun temelli, hareket odaklı ve yoga gibi beden farkındalığını destekleyen aktivitelerin, ince motor becerileri geliştirmeye yönelik müdahalelerde daha yaygın biçimde kullanılması önerilmektedir (Papasideri & Chatziioannou, 2025; Öz, 2021). Ayrıca ailelerin ve eğitimcilerin fiziksel aktivitenin motor gelişim üzerindeki etkileri konusunda bilgilendirilmesi, müdahale sürecinin sürdürülebilirliği ve başarısı açısından önem taşımaktadır.
- 2. Araştırmaya Yönelik Öneriler:** Gelecek çalışmalarda, farklı fiziksel aktivite türlerinin (oyun temelli, spor temelli, yoga vb.) karşılaştırıldığı deneysel

araştırmalara ağırlık verilmesi önerilmektedir (Bremer et al., 2016). Daha uzun süreli müdahale programlarını içeren ve izleme (follow-up) ölçümlerinin yapıldığı çalışmaların planlanması, fiziksel aktivitenin kalıcı etkilerinin ortaya konmasına katkı sağlayacaktır (Ruggeri et al., 2020). Ayrıca büyük örneklem gruplarıyla ve standart ölçme araçları kullanılarak yürütülecek araştırmalar, elde edilen bulguların genellenebilirliğini artıracaktır. Türkiye’de yürütülen çalışmaların sayısının artırılması ise ulusal literatürün güçlendirilmesine ve kültürel bağlama uygun müdahale modellerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır (Şansi, 2019; Özakin, 2018).

3. **Politika ve Program Geliştirmeye Yönelik Öneriler:** OSB’li bireyler için hazırlanan ulusal eğitim ve rehabilitasyon programlarında, fiziksel aktivite temelli müdahalelere daha fazla yer verilmesi önerilmektedir. Ayrıca okul öncesi ve özel eğitim kurumlarında görev yapan uzmanlara yönelik hizmet içi eğitim programlarında, fiziksel aktivite ile motor gelişim arasındaki ilişkiye yönelik içeriklerin artırılması, uygulamaların niteliğini güçlendirebilir (Öz, 2021).

Sonuç olarak, bu çalışma fiziksel aktivitenin OSB’li bireylerin ince motor becerilerinin geliştirilmesinde etkili, uygulanabilir ve desteklenmesi gereken bir müdahale yaklaşımı olduğunu ortaya koymaktadır. Elde edilen bulguların, alanda yapılacak yeni araştırmalara ve uygulamalara yol gösterici nitelikte olduğu düşünülmektedir. Gelecek araştırmaların, ince motor becerilere özgü müdahalelere odaklanan, daha büyük örneklemli ve uzun süreli deneysel çalışmalar şeklinde planlanması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Bremer, E., Crozier, M., & Lloyd, M. (2016). A systematic review of the behavioural outcomes following exercise interventions for children and youth with autism spectrum disorder. *Autism*, 20(8), 899–915. <https://doi.org/10.1177/1362361315616002>
- Çelik, O. T., & Buğday, B. (2022). Otizmli çocuklarda fiziksel aktivite. *Anatolian Journal of Health Research*, 3(1), 30–32.
- Fournier, K. A., Hass, C. J., Naik, S. K., Lodha, N., & Cauraugh, J. H. (2010). Motor coordination in autism spectrum disorders: A synthesis and meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(10), 1227–1240. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-0981-3>
- Kadak, M. T., & Meral, Y. (2019). Otizm spektrum bozuklukları: Güncel bilgilerimiz neler. *OSB*, 12, 15.

- Lang, R., Koegel, L. K., Ashbaugh, K., Regester, A., Ence, W., & Smith, W. (2010). Physical exercise and individuals with autism spectrum disorders: A systematic review. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 4(4), 565–576. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2010.01.006>
- Öz, A. O. (2021). *Oyunlaştırılmış fiziksel aktivitenin otizm spektrum bozukluğu olan çocukların otizm semptomları ve temel motor becerilerine etkisi* (Yüksek lisans tezi). Hitit Üniversitesi.
- Özakın, S. (2018). *Otizm spektrum bozukluğu olan çocuklarda duyu bütünleme eğitiminin proprioseptif duyu, motor performans ve duyu profili üzerine etkisi* (Yüksek lisans tezi). Doğu Akdeniz Üniversitesi.
- Pan, C. Y. (2008). School time physical activity of students with and without autism spectrum disorders during PE and recess. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 25(4), 308–321. <https://doi.org/10.1123/apaq.25.4.308>
- Papasideri, V., & Chatziioannou, S. S. (2025). Effects of yoga on social communication, sensorimotor skills, physical health, and symptom severity in children with autism spectrum disorder: A systematic review. PREPRINT (Version 1) available at Research Square [<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7842859/v1>]
- Provost, B., Heimerl, S., & Lopez, B. R. (2007). Levels of gross and fine motor development in young children with autism spectrum disorder. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*, 27(3), 21–36. https://doi.org/10.1080/J006v27n03_03
- Ruggeri, A., Dancel, A., Johnson, R., & Sargent, B. (2020). The effect of motor and physical activity intervention on motor outcomes of children with autism spectrum disorder: A systematic review. *Autism*, 24(3), 544–568. <https://doi.org/10.1177/1362361319885215>
- Şansi, A. (2019). *Bütünleşik fiziksel aktivite programının otizm spektrum bozukluğu olan ve olmayan çocukların motor beceri, sosyal beceri ve tutumları üzerindeki etkilerinin incelenmesi* (Yayımlanmamış doktora tezi). İstanbul Gedik Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

DİJİTAL EKRAN KULLANIMININ ARTTIĞI OKUL ÖNCESİ DÖNEMDE FİZİKSEL AKTİVİTENİN ÖNEMİ: BİR DERLEME ÇALIŞMASI

Doç. Dr. Nurkan YILMAZ

İnönü Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

nurkan.yilmaz@inonu.edu.tr - 0000-0002-8845-7093

Sibel YAKUT

İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor ABD

alpsibel44@gmail.com -0009-0000-2250-5550

Doç. Dr. Yahya DOĞAR

İnönü Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi

yahya.dogar@inonu.edu.tr - 0000-0002-1068-2266

ÖZET

Dijital teknolojilerin günlük yaşama hızlı biçimde entegre olması, okul öncesi dönemdeki çocukların ekranla etkileşim süresini belirgin şekilde artırmıştır. Bu artış, çocukların fiziksel aktivite düzeylerinde azalma ve sedanter davranışlarda artış ile ilişkilendirilmektedir. Fiziksel aktivite, okul öncesi dönemde motor, bilişsel ve sosyal-duygusal gelişimin temel belirleyicilerinden biridir. Bu derleme çalışmanın amacı, okul öncesi dönemde dijital ekran kullanımı ile fiziksel aktivite arasındaki ilişkiyi incelemek ve fiziksel aktivitenin çocuk gelişimi üzerindeki etkilerini güncel literatür ışığında değerlendirmektir. Çalışmada 2004-2024 yılları arasında yayımlanmış ulusal ve uluslararası bilimsel araştırmalar sistematik olmayan derleme yöntemiyle incelenmiştir. Bulgular, artan ekran süresinin fiziksel aktiviteyi azalttığını, buna bağlı olarak motor becerilerde yetersizlik, dikkat ve öz-düzenleme sorunları ile sosyal-duygusal gelişimde riskler ortaya çıktığını göstermektedir. Buna karşın düzenli fiziksel aktivitenin çocukların çok yönlü gelişimini desteklediği ve ekran kullanımının olası olumsuz etkilerine karşı koruyucu bir rol üstlendiği görülmektedir. Bu bağlamda, okul öncesi dönemde dijital ekran kullanımının bilinçli biçimde sınırlandırılması ve çocukların günlük yaşamlarına düzenli fiziksel aktivitenin entegre edilmesi büyük önem taşımaktadır. Aile, öğretmen ve eğitim kurumlarının iş birliği içinde hareket etmesi, çocukların sağlıklı, aktif ve dengeli bir gelişim süreci geçirmelerine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Okul Öncesi, Fiziksel Aktivite, Ekran Süresi, Çocuk Gelişimi, Sedanter

THE IMPORTANCE OF PHYSICAL ACTIVITY IN THE PRESCHOOL PERIOD WITH INCREASED DIGITAL SCREEN USE: A REVIEW STUDY

ABSTRACT

The rapid integration of digital technologies into daily life has significantly increased the screen time of preschool children. This increase is associated with a decrease in children's physical activity levels and an increase in sedentary behavior. Physical activity is one of the key determinants of motor, cognitive, and social-emotional development in the preschool period. The aim of this review study is to examine the relationship between digital screen use and physical activity in the preschool period and to evaluate the effects of physical activity on child development in light of current literature. In this study, national and international scientific research published between 2004 and 2024 was examined using a non-systematic review method. The findings show that increased screen time reduces physical activity, leading to deficiencies in motor skills, attention and self-regulation problems, and risks in social-emotional development. In contrast, regular physical activity is seen to support the multifaceted development of children and play a protective role against the potential negative effects of screen use. In this context, consciously limiting digital screen use in the preschool period and integrating regular physical activity into children's daily lives is of great importance. Cooperation between families, teachers, and educational institutions will contribute to children's healthy, active, and balanced development.

Keywords: Preschool, Physical Activity, Screen Time, Child Development, Sedentary

1. GİRİŞ

Okul öncesi dönem olan 3–6 yaş aralığı, çocukların temel motor becerileri kazandığı, bilişsel süreçlerinin hızla geliştiği ve sosyal ilişkilerinin temellerinin atıldığı kritik bir gelişim evresidir (Goodway et al., 2019). Bu dönemde edinilen yaşam tarzı alışkanlıkları, ileri yaşlardaki fiziksel aktivite düzeyi ve sağlık davranışları üzerinde belirleyici olmaktadır (Tremblay et al., 2011). Günümüzde televizyon, tablet, akıllı telefon, bilgisayar gibi dijital ekranların erken yaşlarda yaygın biçimde kullanılması, çocukların oyun ve hareket temelli etkinliklere ayırdığı zamanı azaltmaktadır. Ekran temelli etkinliklerin çoğunlukla pasif ve sedanter nitelikte olması, okul öncesi dönemde fiziksel hareketsizliğin artmasına yol açmaktadır (Christakis, 2014). Bu bağlamda, dijital ekran kullanımı ile fiziksel aktivite arasındaki ilişkinin ele alınması, çocuk gelişimi açısından önemlidir. Bu araştırma, okul öncesi dönemde dijital ekran kullanımındaki artış ile fiziksel aktivite düzeyleri arasındaki ilişkinin çocukların motor, bilişsel ve sosyal-duygusal gelişimleri üzerindeki etkilerini ortaya koyması açısından önem taşımaktadır (American Academy of Pediatrics [AAP], 2016; World Health Organization [WHO], 2019). Erken çocukluk döneminin gelişimsel açıdan kritik bir süreç olması, bu dönemde kazanılan sedanter ya da aktif yaşam alışkanlıklarının ileriki yaşlara yansıyabileceğini göstermektedir (LeBlanc et al., 2012; Goodway et al., 2019). Bu çalışma, güncel literatürü bütüncül bir yaklaşımla ele alarak ekran süresi–fiziksel aktivite dengesine ilişkin kanıta dayalı bir çerçeve sunmaktadır. Bu yönüyle bildiri, erken çocukluk döneminde sağlıklı yaşam davranışlarının desteklenmesine yönelik uygulama ve politikalara bilimsel katkı sağlamayı amaçlamaktadır (AAP, 2016; WHO, 2019).

2. YÖNTEM

Bu çalışma, sistematik olmayan bir derleme araştırması olarak tasarlanmıştır. Bu araştırma kapsamında 2004–2024 yılları içerisinde yayımlanmış ulusal ve uluslararası bilimsel makaleler incelenmiştir. Literatür taraması; PubMed, Web of Science, Scopus, ERIC ve Google Scholar veri tabanları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tarama sürecinde “okul öncesi dönem”, “fiziksel aktivite”, “ekran süresi”, “sedanter davranış”, “çocuk gelişimi” anahtar kelimeleri Türkçe ve İngilizce karşılıklarıyla kullanılmıştır. Derlemeye; okul öncesi yaş grubunu (0–6 yaş) kapsayan, ekran kullanımı ve/veya fiziksel aktiviteyi gelişimsel çıktılarla ilişkilendiren çalışmalar dahil edilmiştir. Görüş yazıları, editöryal yazılar ve yalnızca yetişkin örnekleme içeren çalışmalar kapsam dışı bırakılmıştır.

3. BULGULAR

Okul öncesi dönemde dijital ekran kullanımı ile fiziksel aktivite arasındaki ilişkiyi ele alan ulusal ve uluslararası çalışmaların bulguları bütüncül bir bakış açısıyla incelenmiştir. İlgili araştırmalar, erken çocukluk döneminde ekran süresi, sedanter davranışlar ve fiziksel aktivite düzeylerinin çocukların motor, bilişsel ve sosyal gelişimleri üzerindeki etkilerini ortaya koyması açısından önemli veriler sunmaktadır. Bu kapsamda seçilen çalışmaların temel özellikleri ve sonuçları karşılaştırmalı olarak Çizelge 1’de sunulmuştur. Çizelgede ilgili araştırmaların amaçları, örneklem grupları ve temel bulgular gibi çalışmaların ana hatları yer almaktadır.

Çizelge 1. Okul Öncesi Dönemde Ekran Süresi ve Fiziksel Aktiviteyi İnceleyen Çalışmaların Özeti

Çalışmanın Adı	Yazar(lar) / Yıl	Araştırmanın Amacı	Örneklem / Katılımcı Grubu	Temel Bulgular / Sonuçlar
Media and Young Minds	American Academy of Pediatrics, 2016	Erken çocukluk döneminde dijital medya kullanımına yönelik öneriler geliştirmek	2–5 yaş grubu çocuklar (rehber çalışma)	Günlük ekran süresinin 1 saatle sınırlandırılması önerilmiş, aşırı ekran kullanımının gelişimsel riskler taşıdığı vurgulanmıştır.
Interactive Media Use at Younger Than the Age of 2 Years	Christakis, 2014	Erken yaşta ekran kullanımının gelişimsel etkilerini incelemek	0–5 yaş grubu çocuklar (derleme)	Yoğun ekran maruziyetinin öz-düzenleme ve dikkat becerilerini olumsuz etkilediği bulunmuştur.
Fundamental Movement Skills and Habitual Physical Activity in Young Children	Fisher et al., 2005	Motor beceriler ile fiziksel aktivite düzeyi arasındaki ilişkiyi incelemek	Okul öncesi çocuklar (n≈400)	Yüksek motor yeterliliğe sahip çocukların daha aktif olduğu belirlenmiştir.

Preschool Children and Physical Activity: A Review of Correlates	Hinkley et al., 2008	Okul öncesi çocuklarda fiziksel aktiviteyi etkileyen faktörleri belirlemek	Okul öncesi çocuklar (derleme)	Aile tutumları ve çevresel faktörlerin fiziksel aktivite düzeyinde belirleyici olduğu saptanmıştır.
Preschoolers' Physical Activity, Screen Time, and Compliance with Recommendations	Hinkley et al., 2012	Ekran süresi ve fiziksel aktivite önerilerine uyumu değerlendirmek	3–5 yaş grubu çocuklar	Çocukların büyük bölümünün hem ekran süresi hem de fiziksel aktivite önerilerini karşılamadığı bulunmuştur.
Prospective Associations Between Early Childhood Television Exposure and Developmental Outcomes	Pagani et al., 2010	Erken ekran maruziyetinin ileriki gelişimsel sonuçlarını incelemek	Okul öncesinden orta çocukluğa izlenen çocuklar	Yüksek ekran süresinin akademik başarı düşüklüğü ve sosyal beceri sorunlarıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir.
Physical Activity Among Children Attending Preschools	Pate et al., 2004	Okul öncesi kurumlarda çocukların fiziksel aktivite düzeylerini belirlemek	Okul öncesi çocuklar	Okul ortamında yapılandırılmış fiziksel aktivitenin toplam aktivite süresini artırdığı bulunmuştur.
Sedentary Behaviour and Health Indicators in the Early Years	LeBlanc et al., 2012	Sedanter davranışların sağlık göstergeleriyle ilişkisini incelemek	0–4 yaş grubu çocuklar (sistemik derleme)	Artan sedanter sürenin obezite, zayıf kardiyovasküler sağlık ve motor gerilikle ilişkili olduğu saptanmıştır.
Canadian Physical Activity Guidelines for the Early Years	Tremblay et al., 2012	Erken çocukluk dönemi için fiziksel aktivite rehberlerini değerlendirmek	0–4 yaş grubu çocuklar (rehber çalışma)	Günlük fiziksel aktivitenin çok yönlü gelişim ve sağlık için kritik olduğu vurgulanmıştır.
Guidelines on Physical Activity, Sedentary Behaviour and Sleep	World Health Organization, 2019	Fiziksel aktivite, sedanter davranış ve uyku ilişkisini incelemek	0–5 yaş grubu çocuklar (uluslararası rehber)	Uzun süreli oturma ve ekran süresinin sınırlandırılması, aktif oyunların artırılması önerilmiştir.
Understanding Motor Development	Goodway, Ozmun &	Motor gelişim süreçlerini açıklamak	Çocuklar ve ergenler (kitap)	Erken yaşta hareket deneyimlerinin motor yeterlilik için

	Gallahue, 2019			temel olduğu belirtilmiştir.
Sedentary Time and Physical Activity in Early Childhood	Hnatiuk et al., 2014	Sedanter davranış ve fiziksel aktivite düzeylerini incelemek	3–5 yaş grubu çocuklar	Sedanter sürenin artmasının fiziksel aktiviteyi anlamlı düzeyde azalttığı bulunmuştur.
Outdoor Play and Physical Activity in Preschoolers	Tandon et al., 2018	Açık alan oyunlarının fiziksel aktivite üzerindeki etkisini incelemek	Okul öncesi çocuklar	Açık alan oyunlarının orta-şiddetli fiziksel aktiviteyi artırdığı saptanmıştır.

Yapılan çalışmalar analiz edildiğinde, okul öncesi çocukların önemli bir bölümünün önerilen günlük ekran süresi sınırlarının üzerinde zaman geçirdiğini göstermektedir. Amerikan Pediatri Akademisi (AAP), 2–5 yaş grubu çocuklar için ekran süresinin günlük en fazla 1 saat olması gerektiğini belirtmektedir (AAP, 2016). Ancak birçok araştırma, çocukların bu sürenin oldukça üzerinde ekran maruziyetine sahip olduğunu ortaya koymuştur (Hinkley et al., 2012; Pagani et al., 2010). Fiziksel aktivite, kaba ve ince motor becerilerin gelişimi açısından temel bir gerekliliktir. Koşma, zıplama, denge kurma ve tırmanma gibi aktiviteler, fundamental motor becerilerin kazanılmasını desteklemektedir (Goodway et al., 2019). Araştırmalar, yüksek ekran süresine sahip çocukların motor yeterlilik düzeylerinin daha düşük olduğunu göstermektedir (Fisher et al., 2005). Fiziksel aktivite ile bilişsel işlevler arasında pozitif bir ilişki olduğu bildirilmektedir. Düzenli hareket, dikkat, bellek ve yürütücü işlevleri desteklemekte; öğrenmeye hazırlık düzeyini artırmaktadır. Fiziksel olarak aktif çocukların problem çözme ve akademik becerilerde daha iyi performans sergilediği belirtilmektedir (Pate et al., 2004). Açık alan oyunları ve grup temelli fiziksel aktiviteler, çocukların sosyal etkileşim becerilerini, iş birliğini ve duygusal düzenleme kapasitelerini geliştirmektedir. Uzun süreli ekran kullanımı ise sosyal izolasyon, davranış problemleri ve öz-düzenleme güçlükleri ile ilişkilendirilmektedir (Pagani et al., 2010). Sedanter davranışların artışı, çocukluk çağı obezitesi, kas-iskelet sistemi sorunları ve zayıf kardiyovasküler sağlık göstergeleriyle ilişkilendirilmektedir (LeBlanc et al., 2012). Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2019), beş yaş altı çocukların gün boyunca mümkün olduğunca aktif olmalarını ve uzun süreli oturmaktan kaçınmalarını önermektedir. Çizelgede sunulan çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, okul öncesi dönemde artan ekran süresinin fiziksel aktiviteyi azalttığı ve çok yönlü gelişimi olumsuz etkilediği görülmektedir. Buna karşılık düzenli ve yeterli fiziksel aktivitenin motor, bilişsel ve sosyal-duygusal gelişimi desteklediği ve sağlık açısından koruyucu bir rol üstlendiği açıkça ortaya konmuştur.

4. TARTIŞMA

Bu derleme çalışmanın bulguları, okul öncesi dönemde artan dijital ekran kullanımının fiziksel aktivite düzeylerini olumsuz etkilediğini ve çocukların gelişimsel alanlarında çeşitli riskler oluşturduğunu göstermektedir. Literatür, ekran süresi arttıkça sedanter davranışların yaygınlaştığını; buna karşılık fiziksel aktivitenin motor, bilişsel ve sosyal-duygusal gelişim üzerinde destekleyici ve koruyucu bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. İncelenen çalışmalar, okul öncesi dönemde artan ekran süresi ile azalan fiziksel aktivite düzeyleri arasındaki olumsuz

ilişkiyi açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, erken çocukluk döneminin gelişimsel açıdan kritik bir pencere olması nedeniyle literatürde vurgulanan hassasiyetle örtüşmektedir (Goodway et al., 2019).

Amerikan Pediatri Akademisi (AAP) ve Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından önerilen ekran süresi sınırlarına rağmen, incelenen araştırmaların büyük bir bölümü okul öncesi çocukların bu önerilere yeterince uymadığını göstermektedir (AAP, 2016; WHO, 2019). Özellikle Hinkley ve arkadaşları (2012) ile Pagani ve arkadaşlarının (2010) bulguları, yüksek ekran süresinin hem fiziksel aktivite yetersizliği hem de bilişsel ve sosyal sorunlarla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, ekran kullanımının yalnızca süresel olarak değil, içerik ve bağlam açısından da ele alınması gerektiğini düşündürmektedir. Fiziksel aktivitenin motor gelişim üzerindeki belirleyici rolü, Fisher ve arkadaşları (2005) ile Goodway ve arkadaşlarının (2019) çalışmalarında güçlü biçimde vurgulanmaktadır. İncelenen bulgular, erken yaşta kazanılan fundamental motor becerilerin çocukların sonraki yıllardaki fiziksel aktivite alışkanlıkları için temel oluşturduğunu göstermektedir. Buna karşılık, sedanter davranışların artması motor yeterliliğin azalmasına ve çocukların aktif oyunlara katılımının sınırlanmasına yol açmaktadır (Hnatiuk et al., 2014; LeBlanc et al., 2012). Bilişsel gelişim açısından değerlendirildiğinde, düzenli fiziksel aktivitenin dikkat, bellek ve yürütücü işlevler üzerinde olumlu etkiler sağladığı görülmektedir. Pate ve arkadaşları (2004), okul öncesi kurumlarda yapılandırılmış fiziksel aktivitelerin çocukların öğrenmeye hazırlık düzeyini artırdığını belirtmektedir. Buna karşın, uzun süreli ekran maruziyetinin öz-düzenleme becerilerinde zayıflama ve dikkat sorunlarıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Christakis, 2014; Pagani et al., 2010). Sosyal-duygusal gelişim boyutunda ise açık alan oyunları ve grup temelli fiziksel aktivitelerin çocukların sosyal etkileşim, iş birliği ve duygusal düzenleme becerilerini desteklediği öne çıkmaktadır (Tandon et al., 2018). Uzun süreli ekran kullanımının ise sosyal izolasyon ve davranış problemleri riskini artırdığına ilişkin bulgular, erken çocukluk döneminde yüz yüze etkileşim ve aktif oyunların önemini güçlendirmektedir (Pagani et al., 2010).

Sonuç olarak, bu derlemede ele alınan çalışmalar, okul öncesi dönemde ekran süresinin sınırlandırılması ve fiziksel aktivitenin artırılmasının çocukların motor, bilişsel ve sosyal-duygusal gelişimleri açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Ailelerin, eğitimcilerin ve politika yapıcıların erken çocukluk döneminde aktif yaşamı destekleyen çevresel düzenlemelere ve bilinçlendirme çalışmalarına öncelik vermesi, sağlıklı nesillerin yetiştirilmesi açısından önemli bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (AAP, 2016; WHO, 2019).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Okul öncesi dönemde dijital ekran kullanımı ile fiziksel aktivite arasındaki ilişkiyi inceleyen güncel ulusal ve uluslararası çalışmalar bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. İncelenen bulgular, okul öncesi dönem çocuklarının önemli bir bölümünün önerilen ekran süresi sınırlarının üzerinde dijital medya kullanımı sergilediğini ve bunun sedanter davranışları artırarak fiziksel aktivite düzeylerini azalttığını ortaya koymaktadır (American Academy of Pediatrics [AAP], 2016; Hinkley et al., 2012; World Health Organization [WHO], 2019). Artan sedanter yaşam biçiminin, çocukların motor yeterlilik düzeyleri, bilişsel işlevleri ve sosyal-duygusal gelişimleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu görülmektedir (LeBlanc et al., 2012; Pagani et al., 2010). Fiziksel aktivitenin ise okul öncesi dönemde kaba ve ince motor becerilerin gelişimi, fundamental hareket becerilerinin kazanımı ve sağlıklı büyüme açısından temel bir gereklilik olduğu vurgulanmaktadır (Fisher et al., 2005; Goodway et al., 2019). Düzenli ve yeterli fiziksel aktiviteye katılan çocukların motor becerilerinin yanı sıra dikkat, problem çözme ve akademik hazırlık düzeylerinin de daha yüksek

olduğu bildirilmektedir (Pate et al., 2004). Ayrıca açık alan oyunları ve yapılandırılmış fiziksel aktivitelerin çocukların sosyal etkileşim ve duygusal düzenleme becerilerini desteklediği, uzun süreli ekran kullanımının ise sosyal izolasyon ve davranış problemleriyle ilişkili olduğu görülmektedir (Pagani et al., 2010; Tandon et al., 2018).

Elde edilen bulgular doğrultusunda, okul öncesi dönemde sağlıklı gelişimin desteklenebilmesi için aşağıdaki öneriler sunulmaktadır:

- Ekran süresinin sınırlandırılması: Aileler ve eğitimciler, AAP ve WHO tarafından önerilen günlük ekran süresi sınırlarına uygun uygulamaları benimsemeli; özellikle 2–5 yaş grubu çocuklarda ekran süresi günlük en fazla 1 saatle sınırlandırılmalıdır (AAP, 2016; WHO, 2019).
- Fiziksel aktivitenin artırılması: Okul öncesi eğitim programlarında yapılandırılmış ve yapılandırılmamış fiziksel aktivitelere daha fazla yer verilerek çocukların gün boyunca aktif olmaları desteklenmelidir. Açık alan oyunları ve hareket temelli etkinliklerin günlük rutinelere dahil edilmesi teşvik edilmelidir (Pate et al., 2004; Tandon et al., 2018).
- Aile ve çevre faktörlerinin güçlendirilmesi: Aile tutumları ve fiziksel çevrenin çocukların aktivite düzeyleri üzerinde belirleyici olduğu göz önünde bulundurularak, ebeveynlere yönelik bilinçlendirme ve eğitim programları düzenlenmelidir (Hinkley et al., 2008).
- Politika ve uygulama düzeyinde düzenlemeler: Erken çocukluk dönemine yönelik ulusal eğitim ve sağlık politikalarında, sedanter davranışların azaltılması ve fiziksel aktivitenin teşvik edilmesi öncelikli hedefler arasında yer almalıdır (WHO, 2019).
- Gelecek araştırmalar: İleri araştırmalarda, ekran süresinin yalnızca miktarı değil, içerik türü ve kullanım bağlamının da çocukların gelişimi üzerindeki etkileri uzunlamasına ve deneysel tasarımlarla incelenmelidir.

Sonuç olarak, okul öncesi dönemde ekran süresinin dengeli biçimde yönetilmesi ve fiziksel aktivitenin yaşamın doğal bir parçası haline getirilmesi, çocukların çok yönlü gelişimlerini destekleyen temel bir halk sağlığı yaklaşımı olarak değerlendirilmelidir (AAP, 2016; LeBlanc et al., 2012; WHO, 2019).

KAYNAKÇA

American Academy of Pediatrics, Council on Communications and Media. (2016). *Media and young minds. Pediatrics, 138*(5), e20162591. <https://doi.org/10.1542/peds.2016-2591>

Christakis, D. A. (2014). Interactive media use at younger than the age of 2 years. *JAMA Pediatrics, 168*(5), 399–400. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2013.5081>

Fisher, A., Reilly, J. J., Kelly, L. A., Montgomery, C., Williamson, A., Paton, J. Y., & Grant, S. (2005). Fundamental movement skills and habitual physical activity in young

children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(4), 684–688.
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000159138.48107.7d>

Goodway, J. D., Ozmun, J. C., & Gallahue, D. L. (2019). *Understanding motor development: Infants, children, adolescents, adults: Infants, children, adolescents, adults*. Jones & Bartlett Learning.

Hinkley, T., Crawford, D., Salmon, J., Okely, A. D., & Hesketh, K. (2008). Preschool children and physical activity: A review of correlates. *American Journal of Preventive Medicine*, 34(5), 435–441. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.02.001>

Hinkley, T., Salmon, J., Okely, A. D., Crawford, D., & Hesketh, K. (2012). Preschoolers' physical activity, screen time, and compliance with recommendations. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(3), 458–465.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318233763b>

Hnatiuk, J. A., Salmon, J., Hinkley, T., Okely, A. D., & Trost, S. (2014). A review of preschool children's physical activity and sedentary time using objective measures. *American journal of preventive medicine*, 47(4), 487-497.

LeBlanc, A. G., Spence, J. C., Carson, V., Connor Gorber, S., Dillman, C., Janssen, I., ... Tremblay, M. S. (2012). Systematic review of sedentary behaviour and health indicators in the early years (aged 0–4 years). *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(4), 753–772. <https://doi.org/10.1139/h2012-063>

Pagani, L. S., Fitzpatrick, C., Barnett, T. A., & Dubow, E. (2010). Prospective associations between early childhood television exposure and academic, psychosocial, and physical well-being by middle childhood. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 164(5), 425–431. <https://doi.org/10.1001/archpediatrics.2010.50>

Pate, R. R., Pfeiffer, K. A., Trost, S. G., Ziegler, P., & Dowda, M. (2004). Physical activity among children attending preschools. *Pediatrics*, 114(5), 1258–1263.
<https://doi.org/10.1542/peds.2003-1088-L>

Tandon, P. S., Saelens, B. E., Zhou, C., & Christakis, D. A. (2018). A comparison of preschoolers' physical activity indoors versus outdoors at child care. *International journal of environmental research and public health*, 15(11), 2463.

Tremblay, M. S., LeBlanc, A. G., Carson, V., Choquette, L., Connor Gorber, S., Dillman, C., ... Timmons, B. W. (2012). Canadian physical activity guidelines for the early

years (aged 0–4 years). *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(2), 345–356.
<https://doi.org/10.1139/h2012-018>

Tremblay, M. S., LeBlanc, A. G., Kho, M. E., Saunders, T. J., Larouche, R., Colley, R. C., ... Gorber, S. C. (2011). Systematic review of sedentary behaviour and health indicators in school-aged children and youth. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8, 98. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-98>

World Health Organization. (2019). *Guidelines on physical activity, sedentary behaviour and sleep for children under 5 years of age*. World Health Organization.

THE EFFECT OF PERIODIC ADDITION OF SELENOUREA ON PbSe THIN FILMS PRODUCED BY CHEMICAL BATH DEPOSITION METHOD

Metehan Önal

Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik 11210 Turkey, metehan.onal@bilecik.edu.tr Tel:
+90 228 214 1596

ORCID NO: 0000-0001-7128-7123

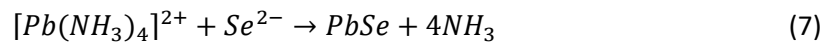
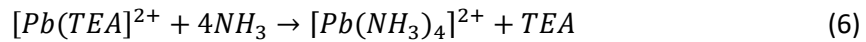
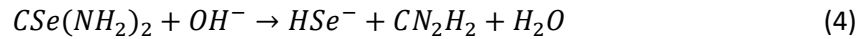
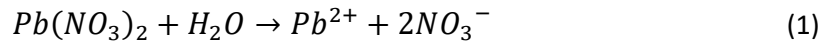
ABSTRACT

This study investigates the effect of periodic selenourea addition on the structural, morphological, and electrical properties of PbSe thin films produced by the chemical bath deposition method. PbSe thin films were synthesized by adding 0.5 mmol selenourea in 5 equal parts at periodic intervals of 0, 2, 4, 6, and 8 minutes. Structural properties were examined by XRD analysis, while surface morphology and film thickness were investigated using SEM analysis and image processing with Python software. Surface resistivity values of the films were evaluated using a four-probe method. XRD results revealed that all films exhibited a polycrystalline cubic PbSe structure. Improved crystallinity was observed in PbSe₂ and PbSe₄ samples. SEM analyses showed that periodic selenourea addition improved film homogeneity and reduced surface voids. In addition, the film thickness decreased significantly in periodically fed samples compared to the PbSe₀ sample. Surface resistivity values decreased from 428 Ωcm to 159 Ωcm as the addition interval increased. The results demonstrate that periodic addition of selenourea is an effective approach for controlling the microstructural and electrical properties of PbSe thin films.

Keywords: Chemical bath deposition; Periodic Addition; PbSe; thin films;

1. INTRODUCTION

While the development of low-cost, scalable, and high-efficiency coating methods in thin film production remains a fundamental research area in materials science, semiconductor thin films attract significant interest from researchers due to their wide range of applications in fields such as solar cells, optoelectronic devices, sensors, and laser technologies [1]. In this context, the preparation and structural characterization of nanocrystalline PbSe thin films is an important area of study in current research due to its potential applications in modern technologies [2]. PbSe is a group IV–VI semiconductor compound with a direct band-transition, narrow band gap of approximately 0.27 eV at room temperature, and a cubic crystal structure [2,3]. In addition to the Chemical Bath Deposition (CBD) method, various techniques such as electrodeposition, molecular beam epitaxy, thermal evaporation, RF magnetron sputtering, and pulsed laser deposition have been employed for the fabrication of PbSe thin films [4]. Within the scope of the method used in this study, the chemical reactions that occurred during the synthesis of PbSe thin films are given below [5].



In this study, lead nitrate $Pb(NO_3)_2$ was the source of lead, selenourea $CSe(NH_2)_2$ was the source of selenium, triethanolamine (TEA) was the complexing agent, and ammonia (NH_3) was the pH regulator. PbSe thin films were synthesized by incrementally adding an equal volume of selenourea solution to the mixture in five stages at intervals of 2, 4, 6, and 8 minutes, rather than introducing it all at once.

2. EXPERIMENTAL

The CBD method was preferred for producing PbSe thin films due to its low cost, simplicity of production, easy control of stoichiometry and film thickness, and the lack of need for complex equipment. Before starting the deposition process, the glass substrates were washed with acetone and rinsed with deionized water. In the preparation of the first sample, labeled as PbSe0, 0.85 mmol $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ was dissolved in 100 mL of deionized water, and 1 mL of TEA was added to the solution. Then, 0.5 mmol selenourea, dissolved in deionized water in a separate container, was added to the solution all at once, and finally, NH_3 was added to adjust the pH of the solution to 10.5. In the samples prepared after the PbSe0 sample, selenourea solution dissolved in 5 mL of pure water was added to the solution in two-drop increments at intervals of 2, 4, 6, and 8 minutes, respectively. The samples obtained based on these addition intervals were named PbSe2, PbSe4, PbSe6, and PbSe8. For all samples, the solution temperature was kept constant at 20 ± 2 °C and the precipitation time was 45 minutes. The summarized experimental conditions are given in Table 1.

Table 1. Experimental parameters used for the deposition of PbSe thin films

Samples	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (mmol)	TEA (mL)	$\text{CSe}(\text{NH}_2)_2$ (mmol)	NH_3 (mL)	Selenourea Addition Interval (min.)
PbSe0	0.85	1	0.5	0.35	0
PbSe2	0.85	1	0.5	0.35	2
PbSe4	0.85	1	0.5	0.35	4
PbSe6	0.85	1	0.5	0.35	6
PbSe8	0.85	1	0.5	0.35	8

Film thicknesses were determined using cross-sectional analyses performed on SEM images. X-ray diffraction (XRD) analyses were performed using a PANalytical Empyrean instrument to examine the structural properties of the films. Surface morphologies were evaluated from images obtained with a Zeiss SUPRA 40VP scanning electron microscope (SEM). SEM images were processed using ImageJ software, and the surface roughness values of the films were calculated. In addition, the surface resistances of the thin films were measured using the four-probe method.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Structural analysis of PbSe films

Cross-sectional SEM images of PbSe thin films were processed using Python software to determine the average thickness values of the films.

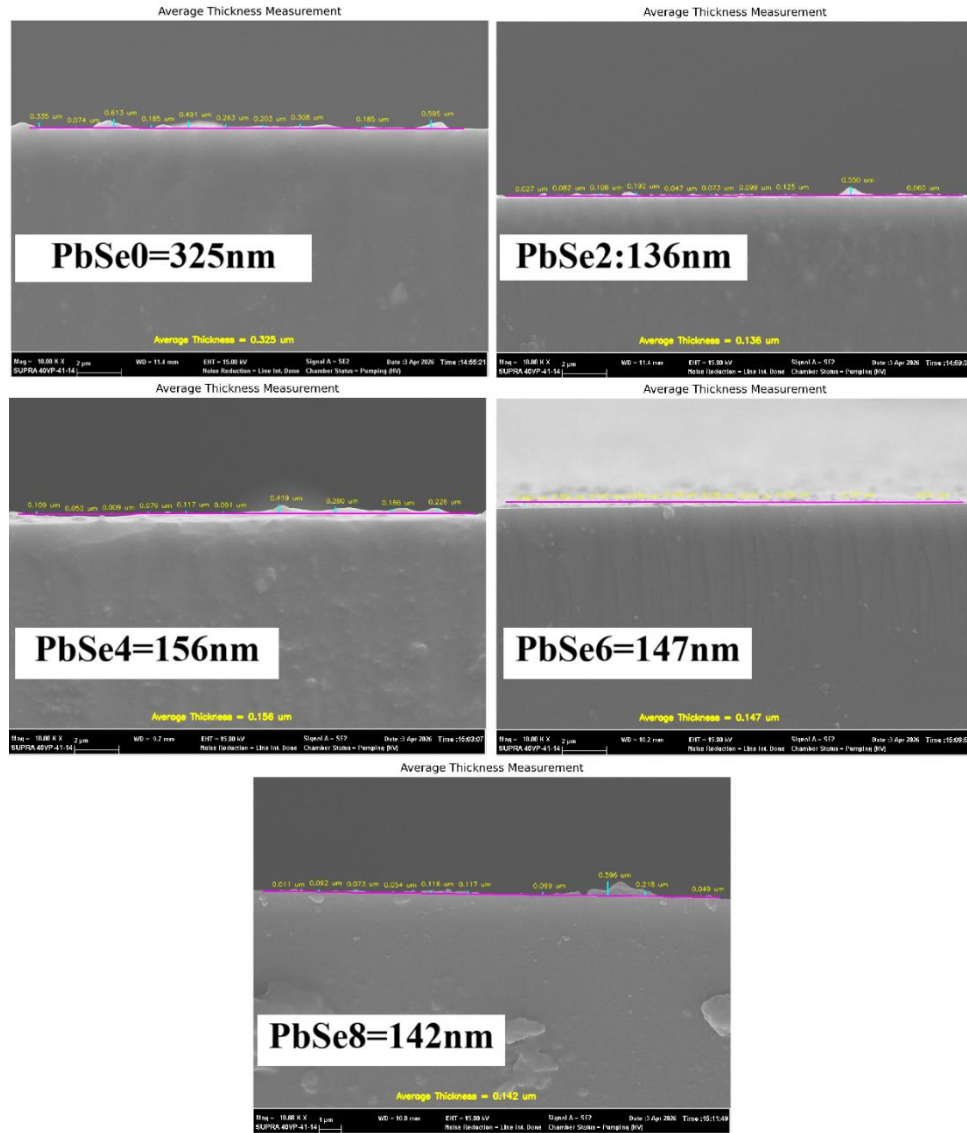


Figure 1. Cross-sectional SEM images of PbSe thin films used for thickness analysis

When thickness data are evaluated, it is seen that the periodic addition of selenourea significantly alters the film growth mechanism. In the PbSe0 sample, the addition of all

selenourea at once resulted in a thicker (325nm) film with rapid nucleation. In contrast, the periodic addition of selenourea at intervals of 2, 4, 6, and 8 minutes resulted in a decrease in film thicknesses. These were measured as 136, 156, 147, and 142 nm, respectively. Although the thicknesses decreased significantly compared to the single addition of selenourea, it cannot be said that the selenourea addition intervals made a very significant difference in film thickness.

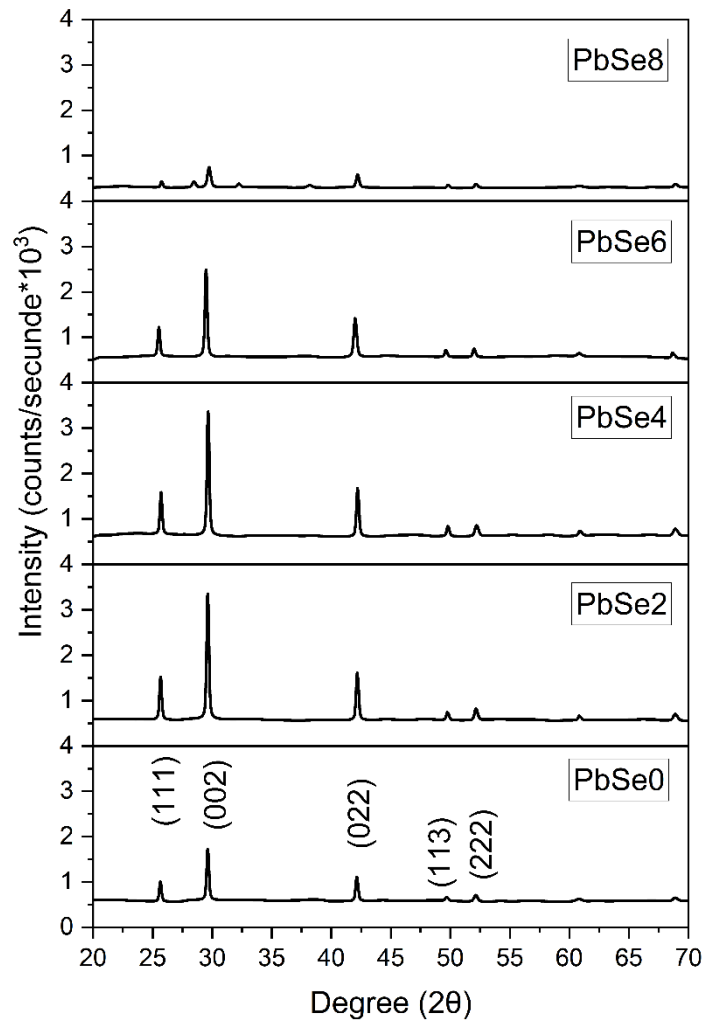


Figure 2. XRD results of PbSe thin films

The XRD patterns of PbSe thin films are given in Figure 2. Characteristic diffraction peaks belonging to the PbSe structure were observed in all samples, and the films were determined to

have a polycrystalline structure. The obtained diffraction peaks were found to be consistent with the ASTM 98-065-7561 standard chart. In the XRD results, it was determined that peaks belonging to the (002) plane were particularly dominant. Changes in peak intensities occurred with varying selenourea addition intervals, and an increase in crystallinity was observed, especially in PbSe₂ and PbSe₄ samples. However, the decrease in peak intensities at higher addition intervals indicates a decrease in crystal quality.

3.2. SEM Analysis of the PbSe Thin Films

SEM images were used to examine the surface morphology of PbSe thin films. Images of PbSe thin films obtained at 10 kX and 40 kX magnifications were presented in Fig.3 and Fig.4, respectively.

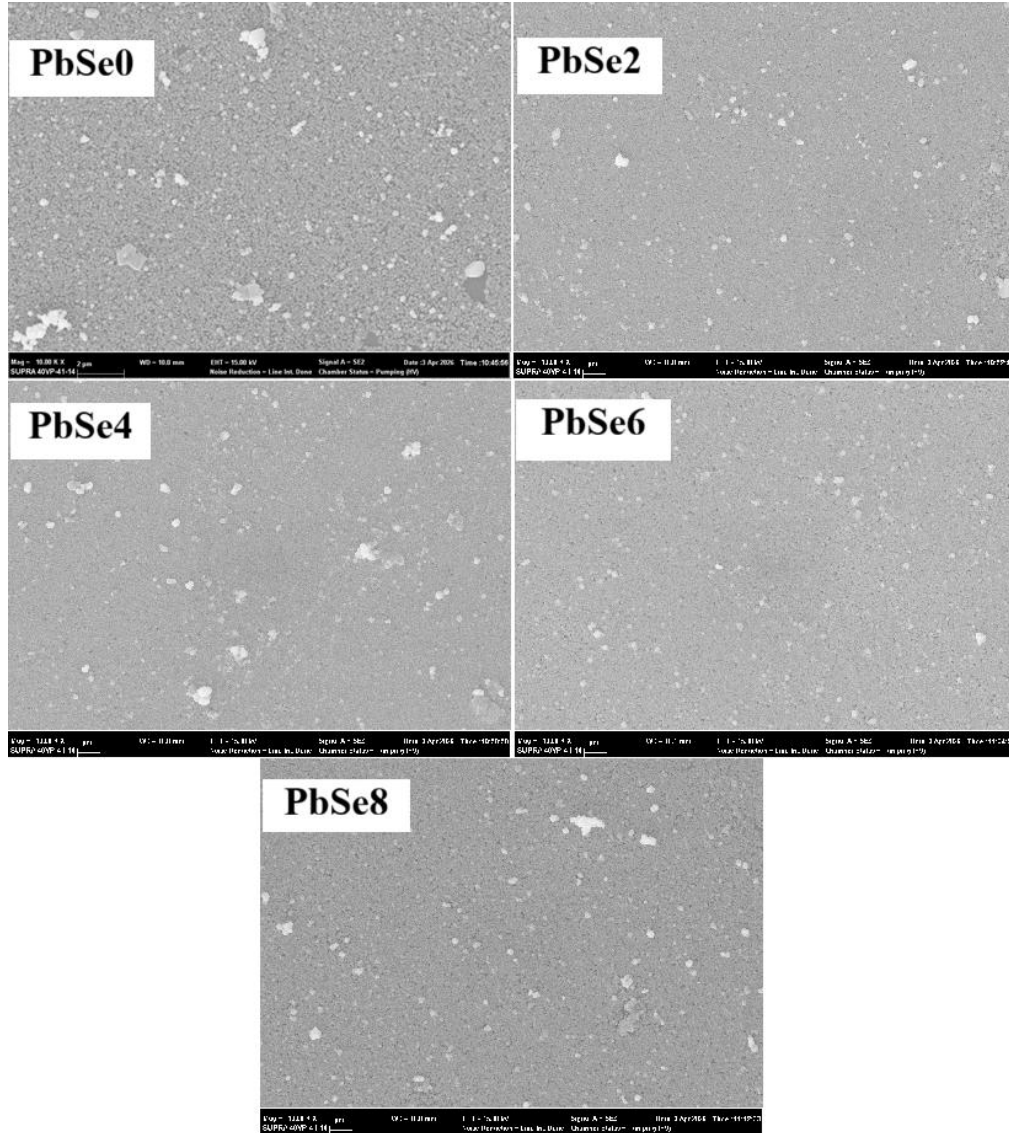


Figure 3. SEM images of PbSe thin films at 10 kX magnification.

SEM images obtained at 10 kX magnification showed that all PbSe thin films had a relatively homogeneous surface morphology and densely dispersed grains. Minor differences in surface texture and grain distribution were observed among the samples.

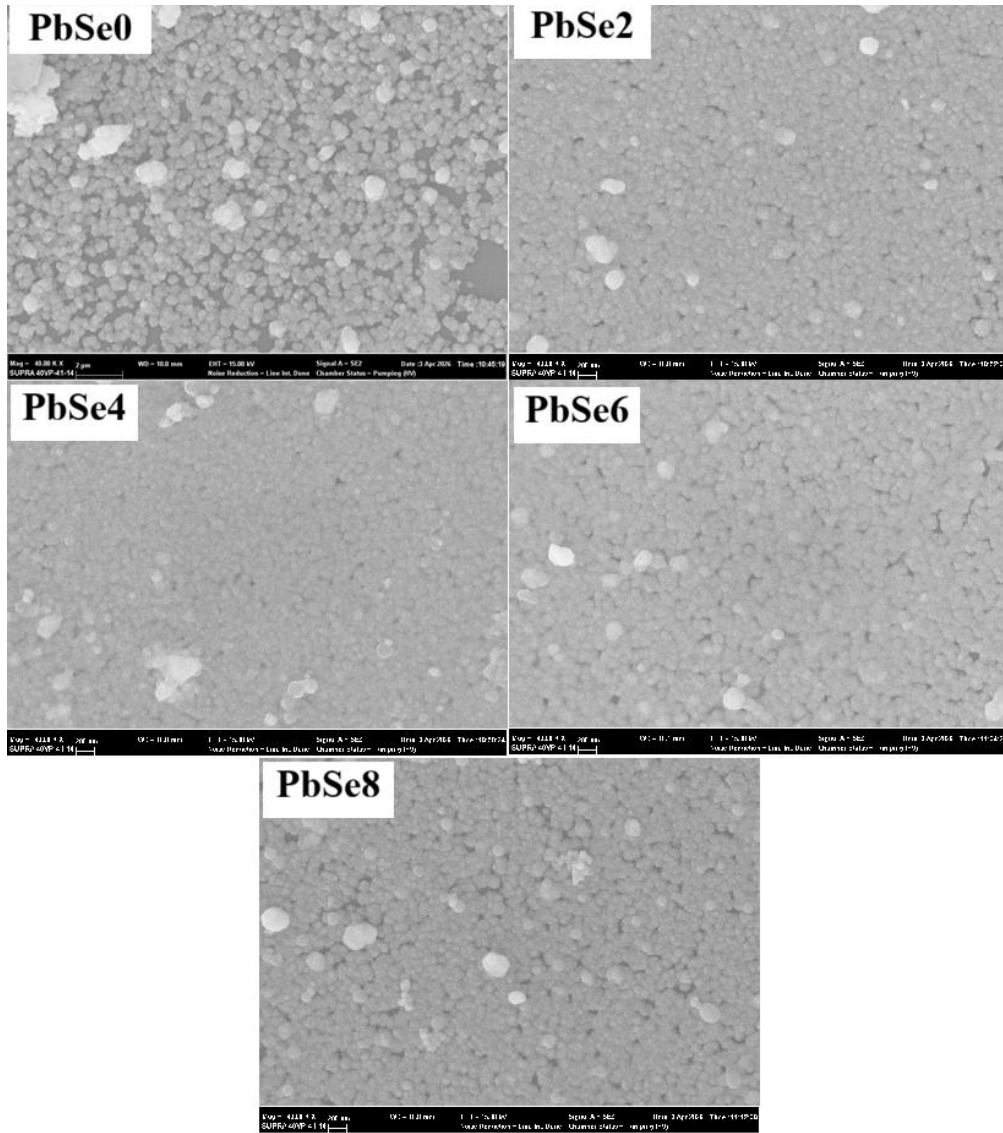


Figure 4. SEM images of PbSe thin films at 40 kX magnification

SEM images recorded at 40 kX magnification allowed for a more detailed observation of the grain structure and surface texture of PbSe thin films. The films consisted of tightly packed grains showing significant differences in grain size and distribution depending on the selenourea addition interval. While some samples exhibited more uniform and finer grain structures, partial grain clustering and irregular growth were observed in samples prepared with longer addition intervals. These results demonstrate that the selenourea addition interval significantly affects the microstructural properties of the films. Moreover, the surface voids observed in the PbSe0 sample appeared to be reduced in the PbSe2 and PbSe4 samples, suggesting a more uniform film formation.

Table 2. Surface roughness, film thickness, and surface resistivity values of PbSe thin films

Samples	Rq (nm)	Ra (nm)	Thickness (nm)	Surface Resistivity (Ωcm)	Selenourea Addition Interval (min.)
PbSe0	21	17	325	428	0
PbSe2	34	23	136	287	2
PbSe4	32	20	156	226	4
PbSe6	33	21	147	214	6
PbSe8	34	22	142	159	8

3.3. Surface Resistivity of the PbSe thin films

Four probe methods were used to determine the surface resistivity values of PbSe thin films, and the measurement results are given in Fig. 5 and Table 2. When the surface resistivity values of PbSe thin films are examined, it is observed that the surface resistivity decreases regularly with increasing selenourea insertion interval. The surface resistivity value obtained as 428 Ωcm in the PbSe0 sample decreased to 159 Ωcm in the PbSe8 sample. These values, ranging from 159 Ωcm to 428 Ωcm , are consistent with the literature [6]. When evaluated together with the XRD results, the distinct peak intensities in PbSe2 and PbSe4 samples indicate better crystallization. In particular, the increase in the diffraction peak belonging to the dominant (002) plane shows that the crystal structure has improved. The more ordered crystal structure may have contributed to the reduction in electrical resistance by facilitating carrier transport. In the SEM images, it is seen that the surface voids observed in the PbSe0 sample are reduced in the PbSe2 and PbSe4 samples, and a more homogeneous surface formation occurs. The more compact and continuous film structure may have improved the conduction paths along the surface, leading to a decrease in surface resistivity. However, despite the partial decrease in XRD peak intensities observed in PbSe6 and PbSe8 samples, the continued decrease in surface resistivity indicates that electrical properties are affected not only by crystallinity but also by changes in film continuity, grain connections, and surface morphology.

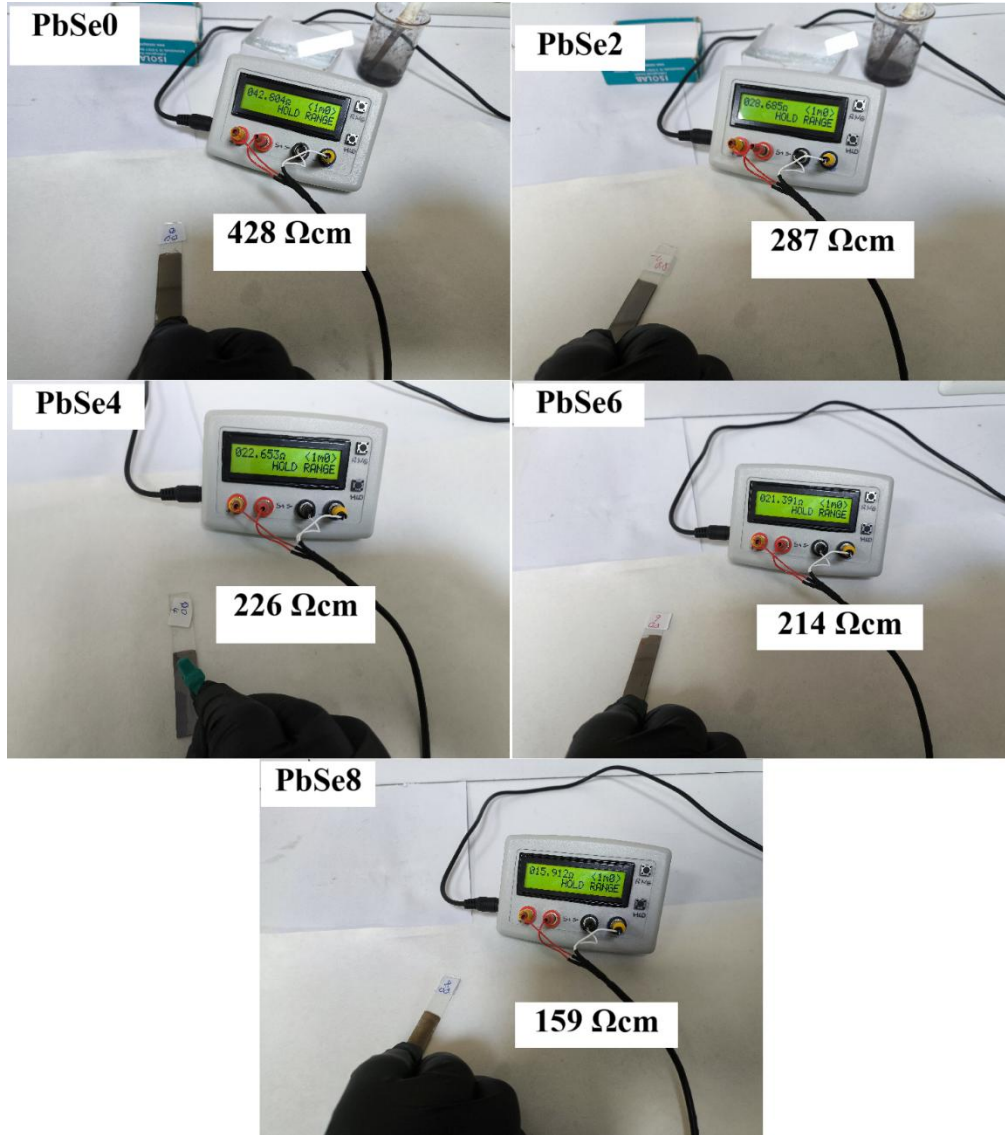


Figure 5. Surface resistivity measurements of PbSe thin films

3.4. Visual analysis of the PbSe thin films

Photographs of PbSe thin films showed that all samples had a relatively homogeneous surface coating without visible cracks or peeling. Significant color tone differences in the surface appearance were observed depending on the selenourea addition interval, indicating that the deposition conditions affected the film formation mechanism. It was assessed that the color tone differences observed among PbSe thin films may be related to changes in film thickness, surface morphology, and crystallization behavior. A top view of PbSe thin films is given in Fig. 6.

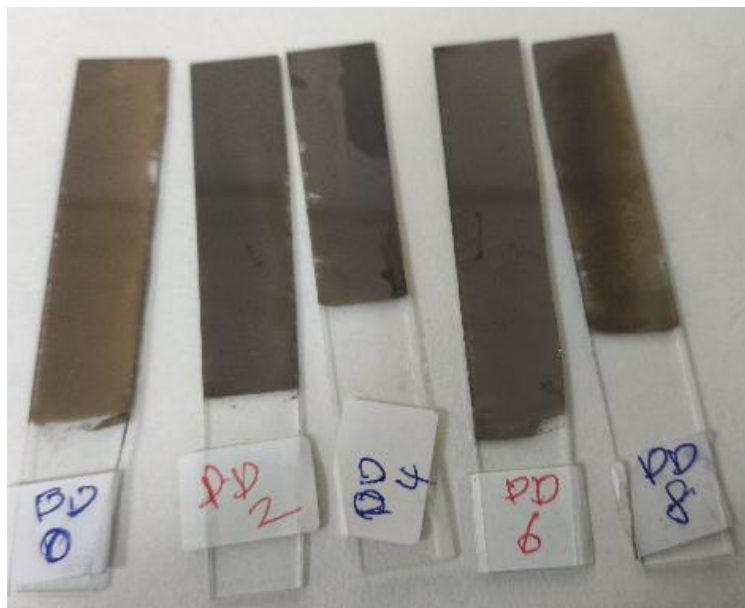


Figure 6. Photograph of the produced PbSe thin films

4. Conclusions

PbSe thin films were successfully synthesized by chemical bath deposition using periodic selenourea addition at different time intervals. Average film thicknesses were determined by image analysis of cross-sectional SEM micrographs using Python software. These calculations showed that periodic time intervals of selenourea addition significantly reduced film thicknesses. Lower film thicknesses suggest that periodic addition of selenium source supports a slower and more controlled film growth mechanism. XRD analysis revealed that all films exhibited a polycrystalline cubic PbSe structure. The increased diffraction peak intensities observed in the PbSe2 and PbSe4 samples suggested that the periodic addition of selenourea at 2 and 4 min intervals promoted crystal growth and improved the crystallinity of the films. However, a partial decrease in peak intensities occurred at longer addition intervals, resulting in a slight reduction in crystal quality. SEM analyses revealed that periodic selenourea addition improved film homogeneity and reduced surface voids compared to the PbSe0 sample. Electrical measurements showed that the surface resistivity decreased significantly as the addition interval increased, reaching its lowest value for the PbSe8 sample. Overall, the results demonstrate that periodic selenourea addition is an effective approach for controlling the microstructural and electrical properties of PbSe thin films produced by the CBD method.

References

- [1] J. Isi, P.O1., Emumejaye, K2., Ikenga, O.A3., Muomeliri, C. B4., Uzor, C.E5., Isah, Res. J. Basic Phys. **14**, 61 (2025).
- [2] F. Kipgen, L. R. Singh, P. J. Saikia, S. R. Devi, and M. A. Hussain, Next Mater. **9**, 101009 (2025).
- [3] S. Peng, H. Li, C. Zhang, J. Han, X. Zhang, H. Zhou, X. Liu, and J. Wang, Nanomaterials **12**, 1 (2022).
- [4] Y. Rodríguez-Lazcano, E. Barrios-Salgado, J. P. Pérez-Orozco, J. Campos, P. Altuzar, E. L. Regla, and D. Quesada-Saliba, Appl. Phys. A Mater. Sci. Process. **127**, 1 (2021).
- [5] M. Onal, J. Ceram. Process. Res. **27**, 89 (2026).
- [6] A. B. Maqbul, A. Y. Abhijit, V. S. Rangrao, P. D. Lalasaheb, and U. M. Elahipasha, Res.J.Chem.Sci. **2**, 15 (2012).

NUMERICAL ANALYSIS OF THE HEATING PERFORMANCE OF WALL TYPE SOLAR CHIMNEYS IN CLOSED SPACES

Harun SEN

Dokuz Eylül University, Bergama Vocational School, Department of Motor Vehicles and

Transportation Technologies,

harun.sen@deu.edu.tr 05077111571

ORCID NO: 0000-0003-3089-8678

Doç. Dr. Erdem CUCE

Recep Tayyip ERDOĞAN University, Faculty of Engineering and Architecture,

erdem.cuce@erdogan.edu.tr

ORCID NO: 0000-0003-0150-4705

Prof. Dr. Pinar MERT CUCE

Recep Tayyip ERDOĞAN University, Faculty of Engineering and Architecture,

pinar.mertcuce@erdogan.edu.tr

ORCID NO: 0000-0002-6522-7092

ABSTRACT

Optimizing thermal conditions in enclosed spaces for human health significantly increases energy consumption. Heating loads, particularly in cold climates, constitute a large portion of energy consumption in buildings. This study presents research on the use of wall-mounted solar chimneys to generate passive solar gain in enclosed spaces. A 2D CFD model is used to analyse the decrease in heating loads in relation to the increase in indoor temperature at different ambient temperatures on a typical winter day. The study shows that with 600 W/m² of solar radiation and an ambient temperature of -5°C, the indoor temperature reaches 7.7°C. The application demonstrates that heating loads can be reduced by 30-40% under average solar radiation conditions. At lower ambient temperatures, the average room temperature increases even more, leading to an increase in heating loads.

Keywords: Solar heating, passive heat gain, wall type solar chimney.

1. INTRODUCTION

In recent years, people have been spending more time indoors, and developments in the business world have led to working in enclosed spaces. As a result of spending more time in enclosed spaces, it has become inevitable to ensure suitable environmental conditions for human health in these environments. Buildings constitute a large part of energy consumption. This situation does not only stem from the consumption during the construction process of buildings. In particular, significant energy consumption is incurred for heating, cooling, and ventilation of buildings. Considering all this, it is quite reasonable that the share of buildings in global energy consumption is more than 40% [1]. In cold climate regions, the necessary heating load is mainly provided by fossil fuels. Despite green energy and international protocols, the inability to prevent fossil fuel consumption and reach the expected level creates a handicap for energy consumption in buildings, as in all conditions. In this case, providing the necessary heating through alternative methods attracts the attention of researchers. Applications that make high use of solar energy have become widespread in recent years. One of these methods is known as the Trombe Wall (TW), which is the application of solar chimneys to walls. A solar chimney is the general name for an application inspired by the upward movement of air due to the pressure difference that occurs at the entrance and exit of a vertical wall [2]. After the first application, Manzanares, demonstrated electricity generation from the system, many researchers conducted performance analyses in various ways [3]. The biggest criticism of the system in the early stages was its low efficiency despite its large scale [4]. Numerous geometric and climatic analyses were performed on the system, and its applicability was proven, particularly through serious studies aimed at improving system performance [5]. In recent years, the use of the system not only for electricity generation but also for different purposes has attracted attention. In particular, the natural ventilation concept provided by the system, which does not require energy for ventilating enclosed spaces, has attracted the interest of researchers. This concept, called Trombe Wall (TW), which is realized by placing transparent glass on the sun-facing facade of an enclosed space, not only provides natural ventilation without energy consumption but also provides passive solar gain, offering significant advantages in heating loads [6]. This concept, which is one of the passive building design applications, is evaluated experimentally and theoretically by researchers. It has been shown that it is possible to ventilate an enclosed room with a volume of 4.75 m³ in Algeria, a hot climate region, without energy consumption [7]. In a different study, it is claimed that a ventilation ratio of more than 5.5 can be achieved with a 1 m high TW application in a room with a volume of 27 m³ and 700 W/m² solar radiation [8]. In the conducted study, the effectiveness of TW application in reducing the heating load in enclosed spaces is discussed with a computational fluid dynamics (CFD) study.

2. METHODOLOGY

In the study, the CFD model is first created using the ANSYS engineering commercial software student version. While dimensioning the 2D CFD model, similar studies in the literature that were previously validated by experimental work are taken as a basis [9]. The visual, dimensioning details and mesh visuals of the 2D CFD model are given in Figure 1.

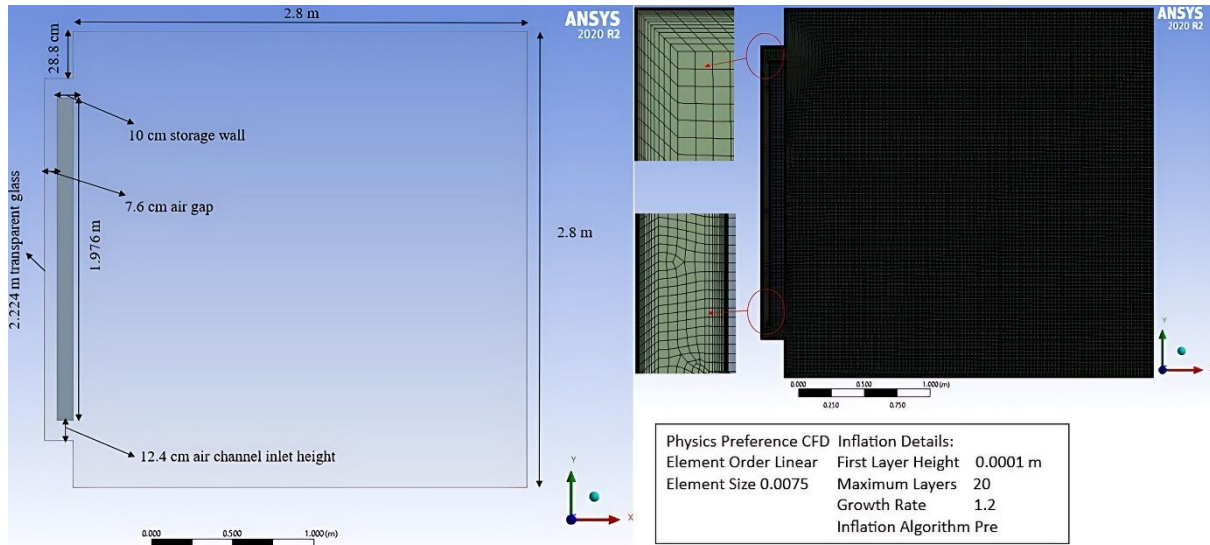


Figure 1. Images of the mesh and geometric details.

24 mm transparent glass is used in the analyses. A 10 cm thick storage wall is positioned to store solar radiation passing through the transparent glass, creating buoyancy effects in the air gap through natural convection. The walls of the chamber are kept at the outside ambient temperature. This is because, especially in winter months, the wall temperatures converge to the ambient temperature in a steady state. The heat transfer coefficient between the glass and the outside environment is taken as $10 \text{ W/m}^2\text{K}$, which is a value commonly used in the literature [3]. It is assumed that the flow is turbulent, and it is assumed that the climatic parameters remain constant during the analyses. The convergence criterion for radiation and energy is taken as 10^{-6} . For other convergence criteria, 10^{-4} is considered sufficient. Analyses are performed in the solar radiation range of $200\text{-}1000 \text{ W/m}^2$ and at ambient temperatures in the range of -15°C - 15°C .

3. RESULTS AND DISCUSSION

This study investigates the effect of a 2D CFD model on heating loads under classical winter conditions for TW (Temporary Width) applications, a type of facade application in buildings. First, mesh-independent solution and validation steps are performed on the created CFD model. Accordingly, the maximum air velocity within the system is monitored for minimum element sizes ranging from 0.0075 m to 0.011 m . For a minimum element size of 0.0074 m , it is observed that the maximum air velocity at a cell count of 163050 changes by 0.35% compared to the maximum air velocity at a cell count of 129040. Therefore, a cell counts of 163050 is considered sufficient for the solutions. Similar studies in the literature are consulted for validation. A comparison is made for the air velocity at the air gap outlet. Details of the comparison are given in Figure 2.

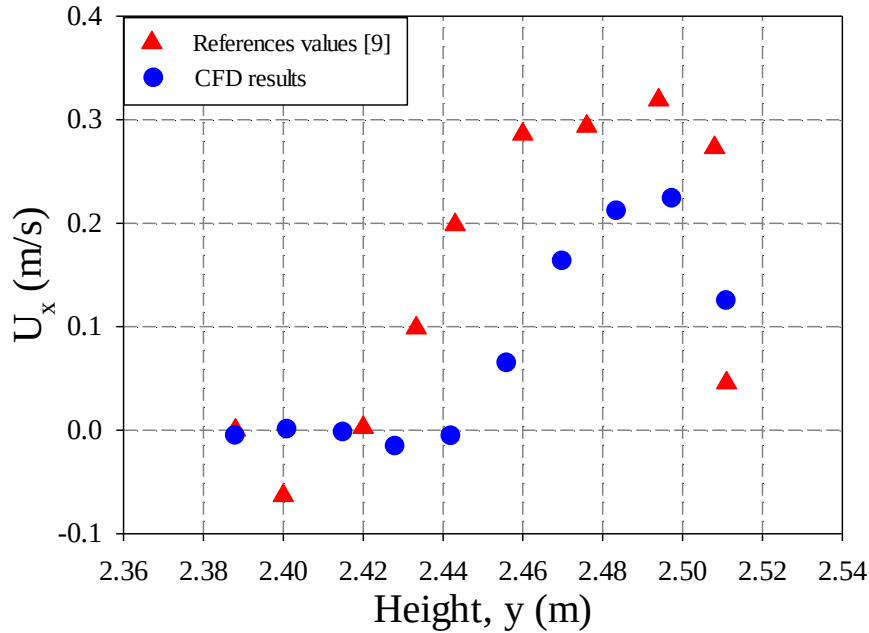


Figure 2. Graph showing the validation of the CFD model based on the velocity at the air gap exit.

After model validation, solutions are repeated at different temperatures and solar irradiation levels to demonstrate that heating loads will decrease in winter months with the TW application. First, the temperature distributions inside the room are obtained for 200 and 1000 W/m² solar irradiation at a constant ambient temperature of 15°C. It is noteworthy that the temperature inside the room increases significantly with increasing solar irradiation. The visual representation for the two different cases is given in Figure 3. However, it would be incorrect to make an assessment based solely on the direct increase in the temperature of the wall, which acts as an energy storage device behind the transparent glass. For a more accurate assessment, it would be more consistent to monitor the change in the average temperature in the room under the same conditions. At 200 W/m² solar irradiation, the average temperature inside the room increases by approximately 5°C, while at 1000 W/m², this increase is approximately 17°C. Lower temperatures are common in winter months, especially in cold climates. Therefore, the effectiveness of the system is evaluated at lower ambient temperatures. Starting from -15°C, the change in the temperature inside the room is observed for different ambient temperatures with a constant solar irradiation of 600 W/m². The reason for using 600 W/m² for solar radiation is that this level of solar radiation is visible in many regions during the winter months. Figure 4 shows the graph of the increase in indoor temperature and the average room temperature for 600 W/m² solar radiation at different ambient temperatures.

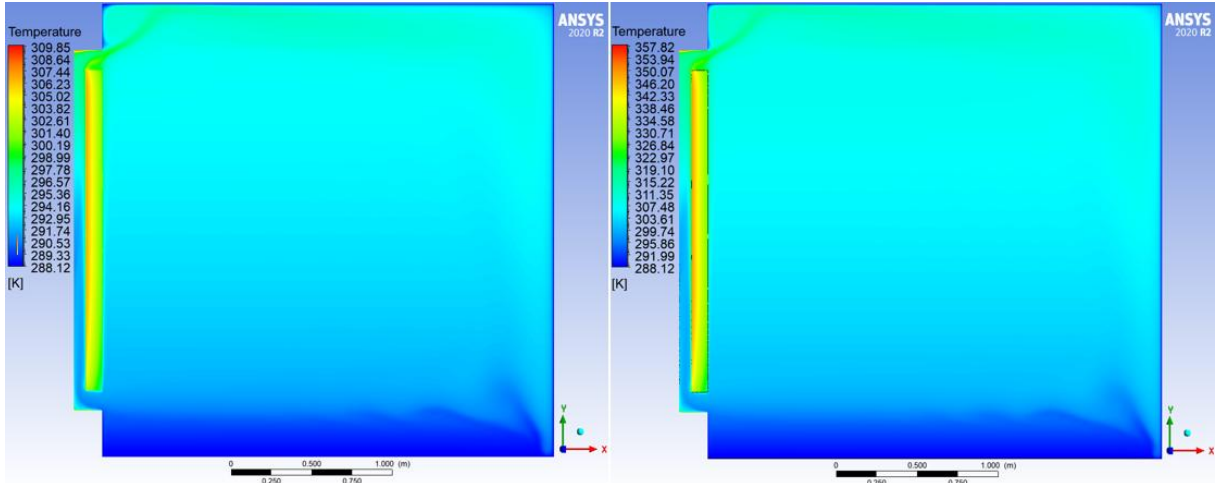


Figure 3. Images showing the temperature distribution inside a room at an ambient temperature of 15°C and solar radiation levels of 200 and 1000 W/m².

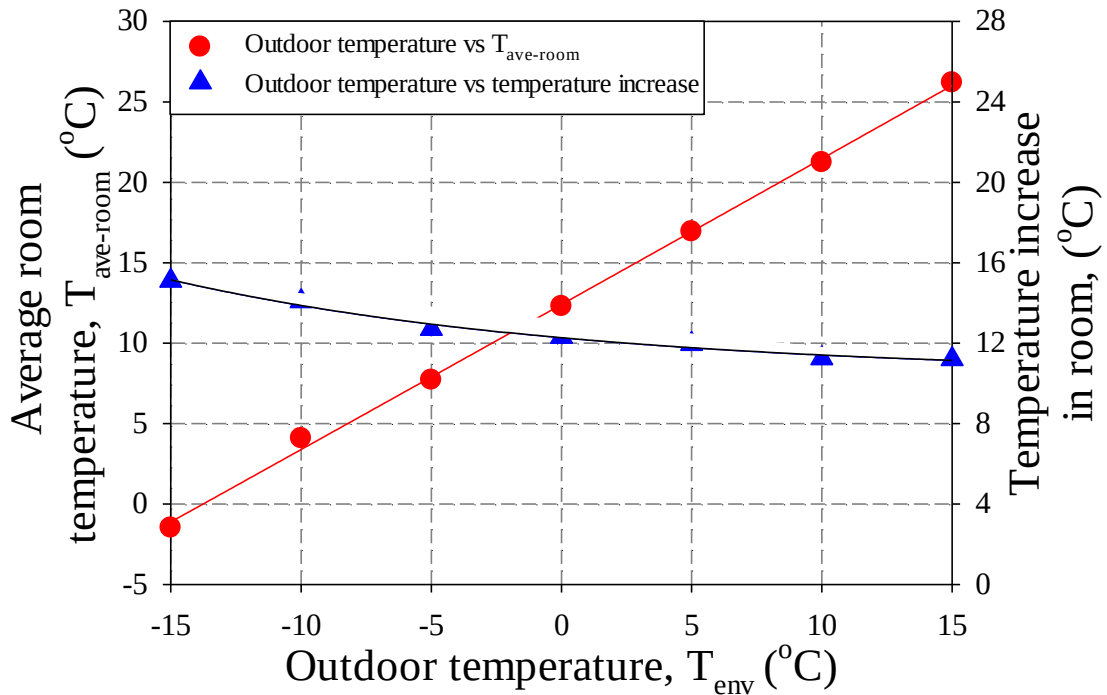


Figure 4. Graph showing average room temperature and temperature rise at different ambient temperatures under constant solar radiation of 600 W/m².

According to thermal comfort standards, the temperature in enclosed spaces can be considered to be 20°C. With the TW application, at an ambient temperature of -15°C and 600 W/m² of solar radiation, the average room temperature is approximately -1.5°C. In this case, it can be predicted that heating loads will decrease by approximately 40%.

4. CONCLUSIONS

TW application is a highly effective method for reducing heating loads in buildings through passive solar gain. This study presents an analysis of the increase in average temperature of a

room during winter months with TW application using a 2D CFD study. The critical findings obtained from the study can be summarized as follows:

- CFD analysis provides highly consistent results for solar energy applications.
- With the TW application, partial heating can be provided in enclosed spaces without consuming energy.
- With 600 W/m^2 of solar radiation, an indoor space can be heated by $5\text{-}10^\circ\text{C}$ at ambient temperature without additional energy consumption.
- With the TW application, heating loads for enclosed spaces can be reduced by up to 40%.

REFERENCES

- [1] Paravantis, J. A., Malefaki, S., Nikolakopoulos, P., Romeos, A., Giannadakis, A., Giannakopoulos, E., Mihalakakou, G., Souliotis, M. (2025). Statistical and machine learning approaches for energy efficient buildings. *Energy and Buildings*, 330, 115309.
- [2] Cuce, E., Sen, H., Cuce, P. M. (2022). Collector factor in a solar chimney power plant: CFD analysis for the pilot plant in Manzanares. *Energetika*, 68(1).
- [3] Cuce, E., Cuce, P. M., Carlucci, S., Sen, H., Sudhakar, K., Hasanuzzaman, M., Daneshazarian, R. (2022). Solar chimney power plants: a review of the concepts, designs and performances. *Sustainability*, 14(3), 1450.
- [4] Mullett, L. B. (1987). The solar chimney—overall efficiency, design and performance. *International journal of ambient energy*, 8(1), 35-40.
- [5] Biswas, N., Mandal, D. K., Bose, S., Manna, N. K., & Benim, A. C. (2023). Experimental treatment of solar chimney power plant—A comprehensive review. *Energies*, 16(17), 6134.
- [6] Hu, Z., Luo, B., He, W (2015). An experimental investigation of a novel Trombe wall with venetian blind structure. *Energy Procedia*, 70, 691-698.
- [7] Bouchair A. Solar induced ventilation in the Algerian and similar climates (Doctoral dissertation, University of Leeds) 1989.
- [8] Mathur, J., Bansal, N. K., Mathur, S., Jain, M. (2006). Experimental investigations on solar chimney for room ventilation. *Solar energy*, 80(8), 927-935.
- [9] Fidaros, D., Baxevanou, C., Markousi, M., & Tsangrassoulis, A. (2022). Assessment of various Trombe wall Geometries with CFD Study. *Sustainability*, 14(9), 4877.

PERFORMANCE ANALYSIS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM INTEGRATED HYBRID SOLAR CHIMNEY POWER PLANTS

Harun ŞEN

Dokuz Eylül University, Bergama Vocational School, Department of Motor Vehicles and
Transportation Technologies,

harun.sen@deu.edu.tr 05077111571

ORCID NO: 0000-0003-3089-8678

Doç. Dr. Erdem CUCE

Recep Tayyip ERDOĞAN University, Faculty of Engineering and Architecture,
erdem.cuce@erdogan.edu.tr

ORCID NO: 0000-0003-0150-4705

Prof. Dr. Pinar MERT CUCE

Recep Tayyip ERDOĞAN University, Faculty of Engineering and Architecture,

pinar.mertcuce@erdogan.edu.tr

ORCID NO: 0000-0002-6522-7092

ABSTRACT

Solar chimney power plants are promising for sustainable energy due to their simple structure and integration with other systems. A hybrid system created by equipping the large-area collector with photovoltaic modules can yield higher power output and improve low efficiencies. In this study, based on the Manzanares pilot plant geometry, the system performance is analysed using a 3D CFD model with different amounts of photovoltaic modules covering the collector. The model is first validated with experimental data and similar studies in the literature, and then a mesh-independent solution is performed. Subsequently, a portion of the large-area collector is covered with photovoltaic modules in specific proportions. System outputs are tested at 1000 W/m^2 solar radiation and a constant ambient temperature of 300 K. While the reference system provides approximately 56 kW of power output, covering half of the collector area with photovoltaic modules yields an additional 4732.6 kW of power output. This increases the low system efficiency while making more efficient land use.

Keywords: Solar chimney power plants, hybrid solar chimneys, photovoltaic solar chimneys.

1. INTRODUCTION

The use of fossil fuels is increasing day by day. Along with this, the growing human population and technological advancements are driving energy demand. This situation leads to increased use of fossil fuels and consequently to environmental pollution. The only solution to this energy needs to reduce fossil fuel use is to turn to alternative energy sources. These sources, called renewable energy sources, include wind, solar, geothermal, hydroelectric, etc., and do not harm the environment during their use [1]. These energy sources are noteworthy for their great potential, in addition to not emitting emissions during use. Their biggest disadvantage is that it is not possible to use all of them in every region. Solar energy is attractive both for its potential and its usability in wide geographical areas. Solar energy has unlimited potential, both for direct thermal utilization and for generating electricity through certain applications [2]. While solar energy can be used in many different concepts, the processes used for electricity generation are similar. The thermal energy of the sun is collected at a point and transferred to a medium fluid, generating electricity through a cycle [3]. The most common examples in the literature are generating electricity with a Stirling engine placed in the centre of a dish, obtaining water at high temperature and pressure by concentrating solar energy on a parabolic tube, and generating electricity by concentrating the sun through numerous mirrors on the top of a tower [4]. These systems are based on generating electricity by transferring the thermal energy of the sun to a medium fluid, which brings with it both thermal losses and high initial investment costs. There are also systems that generate electricity by directly using solar energy, the most popular of which is photovoltaic (PV) electricity generation using special modules [5]. Unlike these systems, there are systems that generate electricity directly from the sun. There are also systems called solar chimney power plants (SCPPs) that use the thermal energy of the sun to generate electricity with their simple structure consisting of a transparent collector, chimney and turbine [6]. The system receives solar radiation through a transparent collector. The system air under the collector is exposed to radiation effects by the solar radiation passing through it. The solar radiation entering the system reaches the ground, where it is stored thermally and causes a temperature increase. Heat transfer occurs from the ground, which has increased in temperature, to the system air via convection, and this process ends with the natural upward movement of the system air due to the density difference. The upwardly moving system air accelerates due to the vacuum effect created by the high chimney and leaves the chimney. During this time, electricity is generated by a vertical-axis wind turbine located at a certain height from the ground. The first application of the system, the Manzanares prototype (MP), was established in the 1980s and gave a power output of 50 kW in September as the first working system [7]. In the following years, climatic and geometric parameters affecting the system performance were discussed and reported by numerous researchers. In recent years, hybrid systems have been created to emphasize the versatility of the system. These systems are quite remarkable and are critical because they show that it is possible to obtain different outputs in addition to increasing the performance of the system [8]. In this study, the aim is to increase the power output by covering the large area collector of the system with PV modules. Singh et al., [9] evaluate the effect of PV module integration on the system performance for small-scale SCPPs with a 3D CFD study. It is stated that the application increases the PV panel efficiency by 7% and the system's power output by 200%. Ahmed and Hussein [10] experimentally test the effect of solar

chimney application on PV module performance. They argue that the application increases PV power by approximately 5%. Alkasrawi et al. [11] present the effect of integrating a desalination process and PV modules into SCPPs on system performance and evaluate the versatile application. In their study, which they conducted by referencing MP, they solve the mathematical model they created using MATLAB. They claim that the system provides cooling for PV modules and that the annual electricity production increases from 380 MWh to 494 MWh.

In the study conducted, the effect of covering the large area collector of the system with transparent PV modules on the system performance is discussed, based on MP measurements. In particular, the aim is to transform the system into a concept that is suitable for use and can obtain versatile power output using PV modules.

2. METHODOLOGY

In this study, the performance change of the SCPPs collector is observed by placing translucent PV modules in the system using a 3D CFD model. The study, based on an MP facility, is conducted under steady-state and constant climatic conditions. The ambient temperature is assumed to be 300 K and the solar radiation constant 1000 W/m^2 . This is to evaluate the system's performance on a standard summer day. The 3D view, geometric details, and mesh view of the system are given in Figure 1.

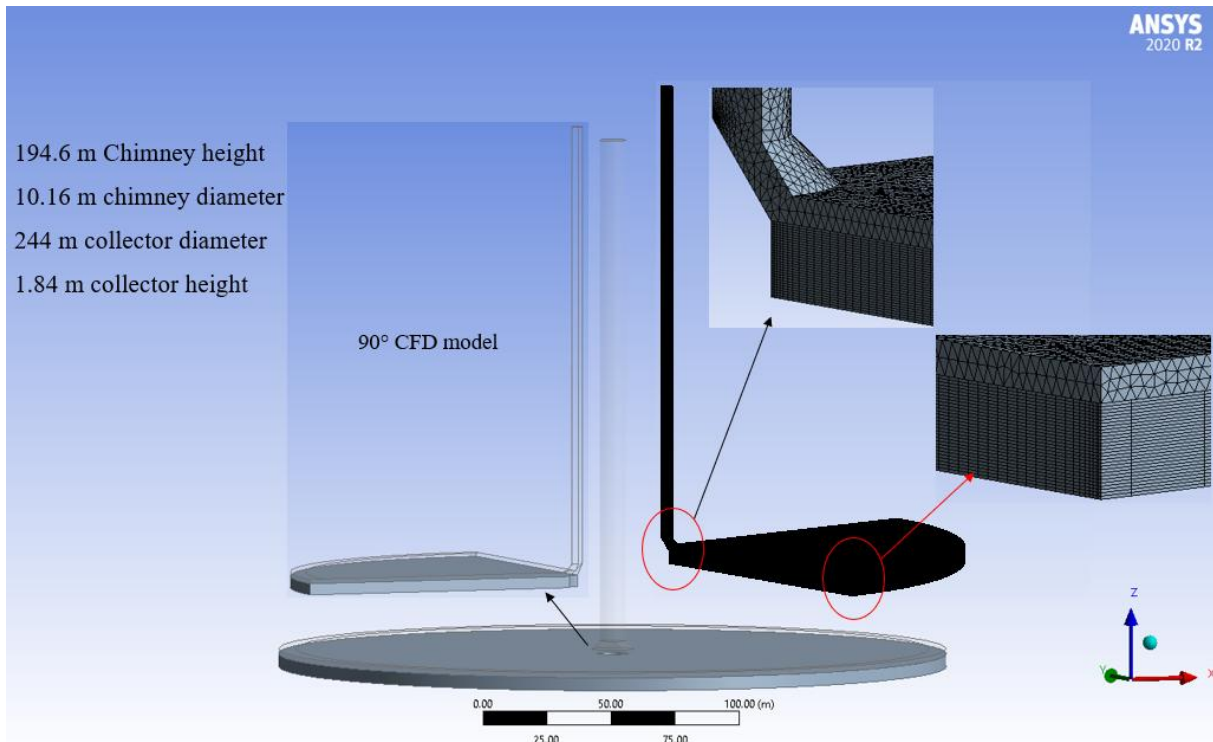


Figure 1. 3D CFD model, geometric details, and mesh visualization for SCPPs.

During the analyses, it is assumed that the working fluid, air, is incompressible and that the system is subject to steady state. Turbulence is preferred as the flow regime, which is also generally accepted in the literature [8]. The RNG k- ϵ turbulence model is used as the turbulence model. All analyses are performed using the ANSYS engineering commercial software student

version. Discrete ordinates (DO) solar ray tracing algorithm is followed to apply solar radiation to the system. While the SIMPLE method is used for pressure-velocity discretization, second-order upwind preferences are followed. Since the limit of 10^{-6} for energy and turbulence and 10^{-3} for other options is acceptable as a convergence criterion, it is kept in this form. Details of the materials constituting the system and boundary conditions are given in Table 1 and Table 2.

Table 1. The physical properties of the materials used and the air [8,12]

Material / Properties	Density (kgm ⁻³)	Specific heat capacity (kJkg ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal conductivity (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	Thickness (m)	Dynamic Viscosity (kgm ⁻¹ s ⁻¹)
Glass	2500	0.75	1.15	0.004	-
Chimney	2100	0.88	1.5	0.00125	-
Ground	2160	0.71	1.84	5	-
PV module	2330	0.677	148	0.0003	-
Air	1.176	0.1	0.0242	-	1.78x10 ⁻⁵

Table 2. Boundary conditions for 3 D CFD model.

Place	Boundary type	Value
Collector roof	Wall: Mixed, Semi-transparent	h= 10 W/m ² K [8], 1000 W/m ² solar radiation Absorptivity 0.1, Transmissivity 0.8
Chimney	Wall: Heat flux, Opaque	0 W/m ²
Ground bottom	Wall: Temperature	305 K [13]
Collector inlet	Pressure inlet	P _{inlet} = 0 Pa, T _a = 300 K
Chimney outlet	Pressure outlet	T _a = 299 K
PV	Wall: Mixed, semi transparent	h= 20 W/m ² K, 1000 W/m ² solar radiation

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the study conducted, the mesh-independent solution and validation steps of the CFD model created are performed first. For this purpose, the change in the maximum air velocity within the system is monitored at different cell numbers. In the solutions obtained with cell numbers ranging from 250,000 to 658,000, it is observed that the change in the maximum air velocity is less than 3.5%. In the last two cell analyses, when the cell number is increased from 586,000 to 658,000, the change in the maximum air velocity is 0.4%, and the cell number of 658,000 is considered sufficient for the solutions. Experimental data is used for the validation step. In the experimental data, it is reported that the maximum air velocity in the system is 15 m/s and the power output is 50 kW [13]. In the CFD results, it is determined that the maximum air velocity is 15.54 m/s and the power output is 56.81 kW in the steady state. It is seen that the CFD results are consistent with the experimental data and the difference is acceptable due to the steady state solution. After validation and mesh-independent solution processes, initial results are obtained

by covering 10% of the collector's inlet with PV modules. A comparison of the temperature distribution in the collector with the reference case without PV modules is given in Figure 2.

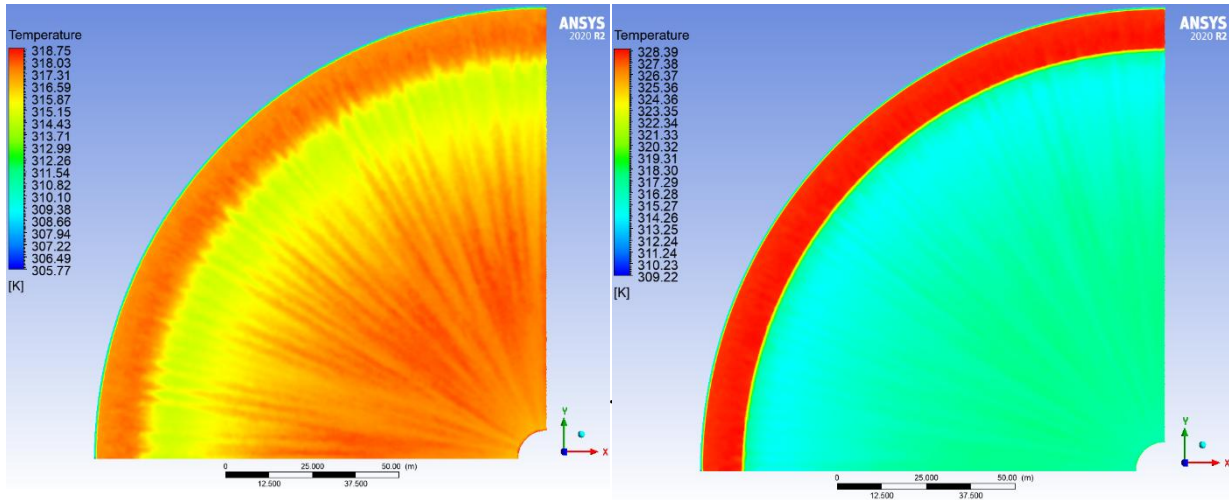


Figure 2. In the reference scenario, the temperature distributions are shown on the left for the collector without PV modules and on the right for the collector covered with 10% PV modules.

It is expected that the maximum temperature in the collector will increase with the addition of PV modules. This can be seen as a natural consequence of the cell temperature increasing when PV modules are exposed to solar radiation. In the next stage, the system performance is evaluated by covering 50% of the collector radius with PV modules. It is observed that the power output, which is 56.81 kW in the reference case, increases by 12% to 63.681 kW when 50% of the collector radius is covered with PV modules. This clearly shows that the PV module integration improves system performance. On the other hand, CFD results show that the PV area is approximately 38,000 m² and the average PV temperature is 326.143 K. At this temperature, a power output of 4731.7 kW is obtained from the PV modules in steady state.

3. CONCLUSIONS

In this study investigating the integration of PV modules into SCPPs performance, a 3D CFD model is created and steady-state analyses are performed. By including the discrete ordinate (DO) solar radiation tracking algorithm and following the RNG k- ϵ turbulence model, mesh-independent solutions and validation steps are taken, and new solutions are obtained to evaluate system performance. The study, conducted at 1000 W/m² solar radiation and a constant ambient temperature of 300 K, yields the following critical findings:

- The steady-state performance of SCPPs can be analysed with high accuracy using a CFD model. In the reference case, the power output, which is 50 kW in experimental data, is calculated as 56.81 kW from the CFD results.
- The collector temperature varies with the PV module coating.
- By partially covering the collector with a PV module, the system's power output is increased to 84 times the reference level.
-

REFERENCES

- [1] Sen, H., Cuce, P. M., Cuce, E. (2021). Impacts of collector radius and height on performance parameters of solar chimney power plants: a case study for Manzanares, Spain. *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 2(2), 83-104.
- [2] Maka, A. O., Alabid, J. M. (2022). Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy*, 6(3), 476-483.
- [3] Gul, E., Baldinelli, G., Wang, J., Bartocci, P., Shamim, T. (2025). Artificial intelligence based forecasting and optimization model for concentrated solar power system with thermal energy storage. *Applied Energy*, 382, 125210.
- [4] Abdelghafar, M. M., Hassan, M. A., Kayed, H. (2025). Direct integration of supercritical carbon dioxide-based concentrated solar power systems and gas power cycles: Advances and outlook. *Applied Thermal Engineering*, 269, 126064.
- [5] Cuce, E. and Cuce, P. M. (2014). Tilt angle optimization and passive cooling of building-integrated photovoltaics (BIPVs) for better electrical performance. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(11), 8199-8207.
- [6] Cuce, E., Sen, H., Cuce, P. M. (2022). Collector factor in a solar chimney power plant: CFD analysis for the pilot plant in Manzanares. *Energetika*, 68(1).
- [7] Schlaich, J. R., Bergemann, R., Schiel, W., Weinrebe, G. (2005). Design of commercial solar updraft tower systems—utilization of solar induced convective flows for power generation. *J. Sol. Energy Eng.*, 127(1), 117-124.
- [8] Cuce, E., Cuce, P. M., Carlucci, S., Sen, H., Sudhakar, K., Hasanuzzaman, M., Daneshazarian, R. (2022). Solar chimney power plants: a review of the concepts, designs and performances. *Sustainability*, 14(3), 1450.
- [9] Singh, A. P., Kumar, A., Singh, O. P. (2020). Performance enhancement strategies of a hybrid solar chimney power plant integrated with photovoltaic panel. *Energy Conversion and Management*, 218, 113020.
- [10] Ahmed, O. K. and Hussein, A. S. (2018). New design of solar chimney (case study). *Case studies in thermal engineering*, 11, 105-112.
- [11] Alkasrawi, M., Abdelsalam, E., Alnawafah, H., Almomani, F., Tawalbeh, M., Mousa, A. (2021). Integration of solar chimney power plant with photovoltaic for co-cooling, power production, and water desalination. *Processes*, 9(12), 2155.
- [12] Yu, H., Wang, J., Zhou, Q., Qin, J., Wang, Y., Lu, X., Cheng, P. (2023). Semi-transparent organic photovoltaics. *Chemical Society Reviews*, 52(13), 4132-4148.
- [13] Haaf, W. (1984). Solar chimneys: part ii: preliminary test results from the Manzanares pilot plant. *International Journal of Sustainable Energy*, 2(2), 141-161.

DÖKÜM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN AL-ZN-MG ALAŞIMLARINDA MAGNEZYUM ORANININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

ŞEREF BOYRAZ

Kırıkkale Üniversitesi

serefboyrazzz@gmail.com - 0009-0000-8491-4106

Dr. Öğr. Üyesi NACİ ARDA TANIŞ

Kırıkkale Üniversitesi

ardatanis@kku.edu.tr - 0000-0001-5547-9790

Prof. Dr. RECEP ÇALIN

Kırıkkale Üniversitesi

recepcalin@hotmail.com - 0000-0003-1810-8696

ÖZET

Bu çalışmada, sabit %6 Zn içeriğine sahip Al-Zn esaslı alüminyum alaşımına, farklı oranlarda Mg ilavesinin mikroyapı, fiziksel özellikler ve mekanik davranış üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında Mg içermeyen Al-%6Zn alaşımı ile ağırlıkça %2, %4 ve %6 Mg içeren Al-Zn-Mg alaşımları metal kalıba döküm yöntemiyle üretilmiştir. Döküm sonrasında elde edilen numuneler mikroyapı incelemeleri, çekme testi, yoğunluk ölçümü ve mikrosertlik testleri ile analiz edilmiştir. Alüminyum alaşımlarında mekanik özelliklerin geliştirilmesinde alaşım elementlerinin türü ve oranı belirleyici olduğundan, Mg miktarındaki değişimin Al-Zn alaşım sistemi üzerindeki etkisinin nicel olarak ortaya konması önem taşımaktadır. Bu kapsamda çalışmanın temel amacı, Mg ilavesinin alaşımın dayanım, sertlik, yoğunluk ve mikroyapısal gelişimi üzerindeki etkilerini sayısal ve görsel verilerle değerlendirmektir. Elde edilen sonuçlar, artan Mg alaşım elementi ilavesi ile mikroyapıdaki değişimler, çekme dayanımı ve mikrosertlik değerlerinin arttığı da saptanmıştır. Çalışma, metal kalıba döküm yöntemiyle üretilen Al-Zn-Mg alaşımlarında bileşim-mikroyapı-özellik ilişkilerinin anlaşılmasına katkı sağlamakta ve farklı Mg oranlarının mühendislik uygulamaları açısından değerlendirilmesine olanak sunmaktadır

Anahtar Kelimeler : Al-Zn-Mg alaşımı, çekme dayanımı, mikrosertlik

1. GİRİŞ

Alüminyum ve alüminyum alaşımları; düşük yoğunluk, yüksek özgül dayanım, iyi korozyon direnci, kolay plastik şekil verme ve geri dönüşüm gibi üstün özellikleri nedeniyle otomotiv, havacılık, savunma, makine imalatı ve diğer mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Saf alüminyumun mekanik dayanımının sınırlı olması, kullanım alanına bağlı olarak farklı alaşım elementleriyle güçlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu kapsamda çinko ve magnezyum, alüminyum alaşımlarında mekanik özelliklerin geliştirilmesinde önemli rol oynayan başlıca alaşım elementleri arasında yer almaktadır [2].

Al-Zn sistemi, bileşim ve uygulanan ısı işlem açısından özellikle aşırı doymuş durumda mikro yapı ve faz geçişlerini incelemek için çok uygun ve özellikle çekicidir [3]. Bu alaşım sistemine magnezyum ilavesi yapılması ise mikroyapısal değişimler oluşturarak sertlik, çekme dayanımı ve aşınma davranışı gibi özellikleri etkileyebilmektedir. Magnezyumun alüminyum içerisindeki varlığı, alaşımın katılaşma davranışını, faz oluşumunu ve tane yapısını değiştirebilmekte; buna bağlı olarak mekanik performansta belirgin farklılıklar ortaya çıkabilmektedir [4]. Bu nedenle Al-Zn-Mg alaşımlarında magnezyum oranının sistematik olarak incelenmesi, alaşım tasarımı ve mühendislik uygulamaları açısından önem taşımaktadır.

Alüminyum döküm alaşımlarında üretim yöntemi de malzeme özellikleri üzerinde belirleyici bir faktördür. Metal kalıba döküm yöntemi, kum kalıba döküme kıyasla daha iyi yüzey kalitesi, daha kontrollü katılaşma ve tekrarlanabilir üretim imkânı sunması nedeniyle tercih edilen yöntemlerden biridir [5]. Bu yöntemle üretilen alaşımlarda kimyasal bileşim ile mikroyapı arasındaki ilişkinin anlaşılması, hedeflenen mekanik özelliklere sahip malzemelerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmada, çinko oranı ağırlıkça %6 olacak şekilde sabit tutulmuş; magnezyum içermeyen Al-Zn alaşımı ile ağırlıkça %2, %4 ve %6 Mg içeren Al-Zn-Mg alaşımları metal kalıba döküm yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen alaşımlarda magnezyum oranının mikroyapı, yoğunluk, mikrosertlik ve çekme özellikleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Böylece farklı magnezyum oranlarının Al-Zn esaslı döküm alaşımlarının fiziksel ve mekanik özelliklerine katkısı ortaya konulmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Numune Hazırlığı

Çalışmada Al-Mg-Zn alaşımları ağırlıkça %6 Zn içeriği sabit tutularak ağırlıkça %2 - 4 - 6 Mg alaşım elementi eklenerek, elektrik rezistans ocağında 750 °C sıcaklıkta ergiyik ticari saflıkta ki alüminyumun içerisine, saf Zn ve saf Mg alaşım elementlerinin belirlenen ağırlıkça yüzde oranlarında kütleleri tayin edilerek eklenmiştir. Alaşım elementleri sıvı halde tamamen çözündükten sonra, alaşım sıvı metali, yüksekliği 200mm, altı Ø60mm, üstü Ø74mm ölçülerinde hazırlanan konik metal kalıp içerisine dökülmüştür.

Katılaşma sonrası kalıplardan alınan farklı ağırlıkça %Mg oranına sahip alaşım numuneleri şerit testerede 6 dilim halinde kesilerek tornada yapılacak olan testlere hazır halde numuneler haline getirilmiştir.

2.2. Metodoloji

Hazırlanan numuneler değişen Mg içeriğinin mekanik ve mikroyapı da ki özelliklerine etkisinin incelenmesi için öncelikle gözenek ölçüm testine tabii tutulmuştur, gözenek ölçümünü belirlemek için havada ve suda ağırlıkların ölçüldüğü Archimedes Metodu kullanılmış olup kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$\frac{G_{havada}}{G_{havada} - G_{suda}} \times \emptyset = \rho_{gerçek} \quad (1)$$

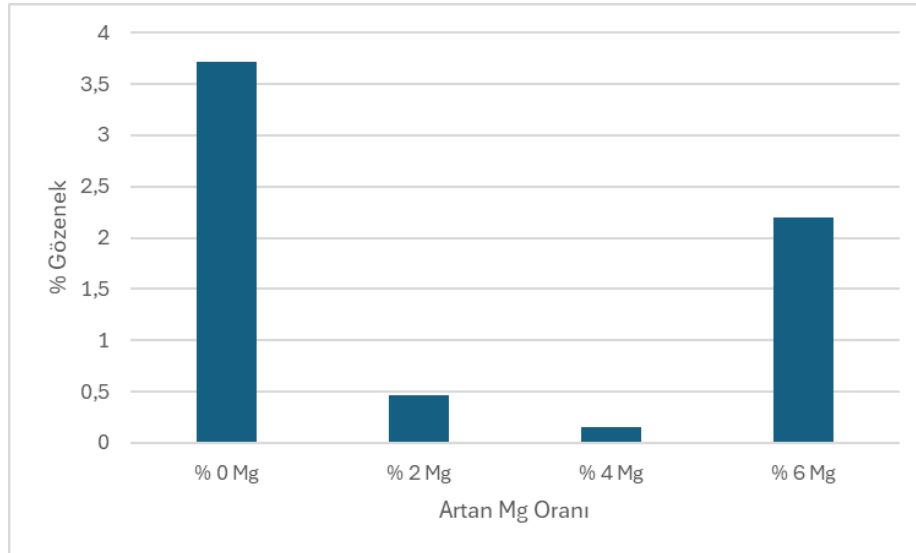
$$\frac{\rho_{teorik} - \rho_{gerçek}}{\rho_{teorik}} \times 100 = \% \text{ gözenek} \quad (2)$$

Eşitlik 1’de verilen G_{havada} , numunenin havadaki ağırlığı, G_{suda} numunenin suda ki ağırlığıdır. $\emptyset$ ise saf suyun testin yapıldığı sıcaklıktaki yoğunluğudur. Eşitlik 2’de ise ρ_{teorik} , alaşımın teorik yoğunluğunu, $\rho_{gerçek}$ numunenin gerçek yoğunluğudur.

Mekanik özelliklerinin anlaşılması çekme testi ASTM E8 standartlarında numunelere çekme testi yapılmış, akma ve çekme dayanımları belirlenmiştir. Sertlik değerleri ise HV0,5 vickers sertlik değerinde mikrosertlik testi ile ölçülmüştür. Tribolojik incelemeler için TRB 3 pin-on aşınma cihazında ölçülmüştür.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

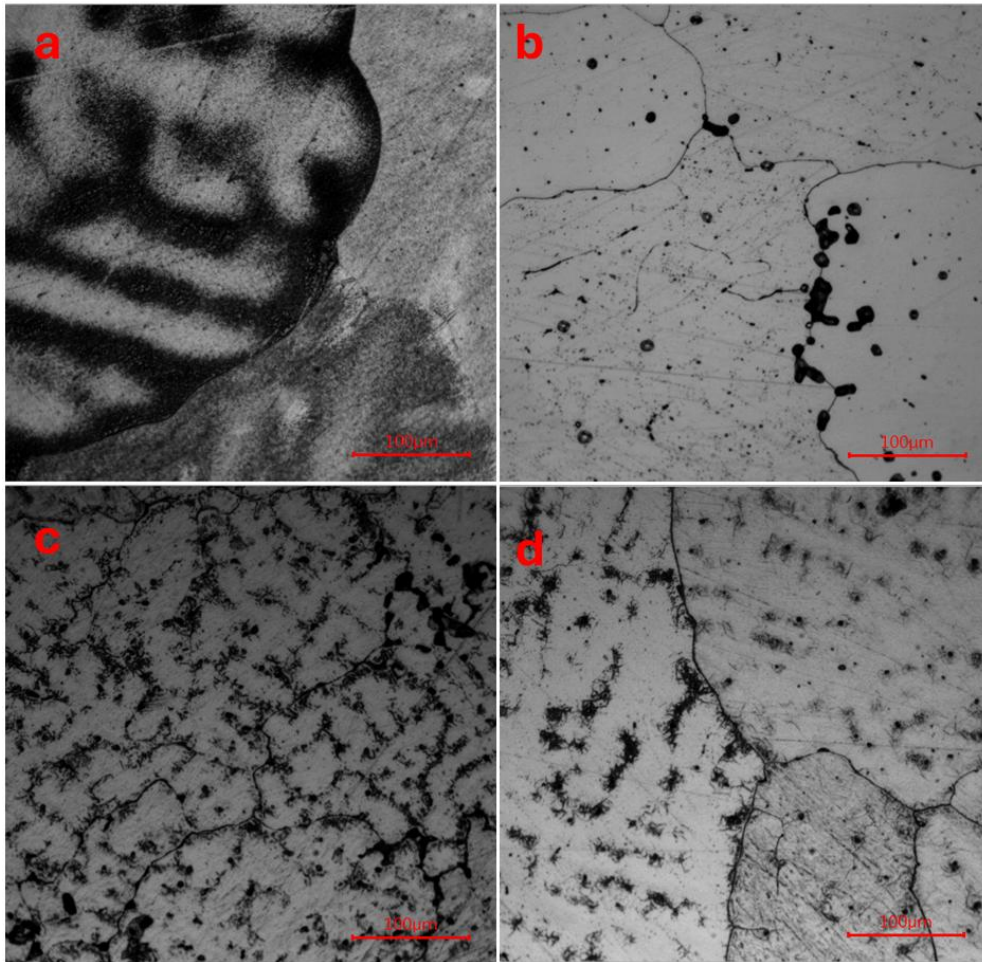
Ağırlıkça Mg oranı değişen % 0 – 2 – 4 – 6 Mg oranlarında değişen alaşımların yüzde gözeneklilik ölçümleri Görsel 1.'de verilmiştir. Gözeneklilik ölçümlerine bakıldığında Mg içermeyen alaşımın gözeneklilik oranı % 3,71 olarak ölçülmüştür. Ağ. %2 Mg içeren numunenin gözeneklilik oranı ise % 0,47 olarak ölçülmüştür. Ağırlıkça %4 Mg içeren numunenin gözeneklilik oranı ise % 0,15 ölçülmüştür. Mg oranı % 6'ya çıktığında ise gözeneklilik oranı % 2,2 olarak ölçülmüştür. Mg oranının artması ile gözeneklilikteki bu düşüşün sebebi Mg elementinin Al-Zn içerisine girerek katılaşmayı iyileştirmesidir. %6 Mg oranında ise artan Mg ile MgO oluşumunun tane sınırlarında artması ve dentritler arasındaki boşlukların kapanmayı engellemesinden dolayı olduğu ön görülmektedir.



Görsel 1. Al – Mg -Zn alaşımlarında artan Mg oranı ile gözeneklilik değişimi

Görsel 2. de Mg içermeyen Al- Zn ve ağ. %2-4-6 Mg içeren Al-Mg-Zn alaşımlarının optik mikroskop mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde Görsel 2.a'da bulunan Mg içermeyen numunenin mikroyapı görüntüsünde oluşan ikincil dentrit kolları

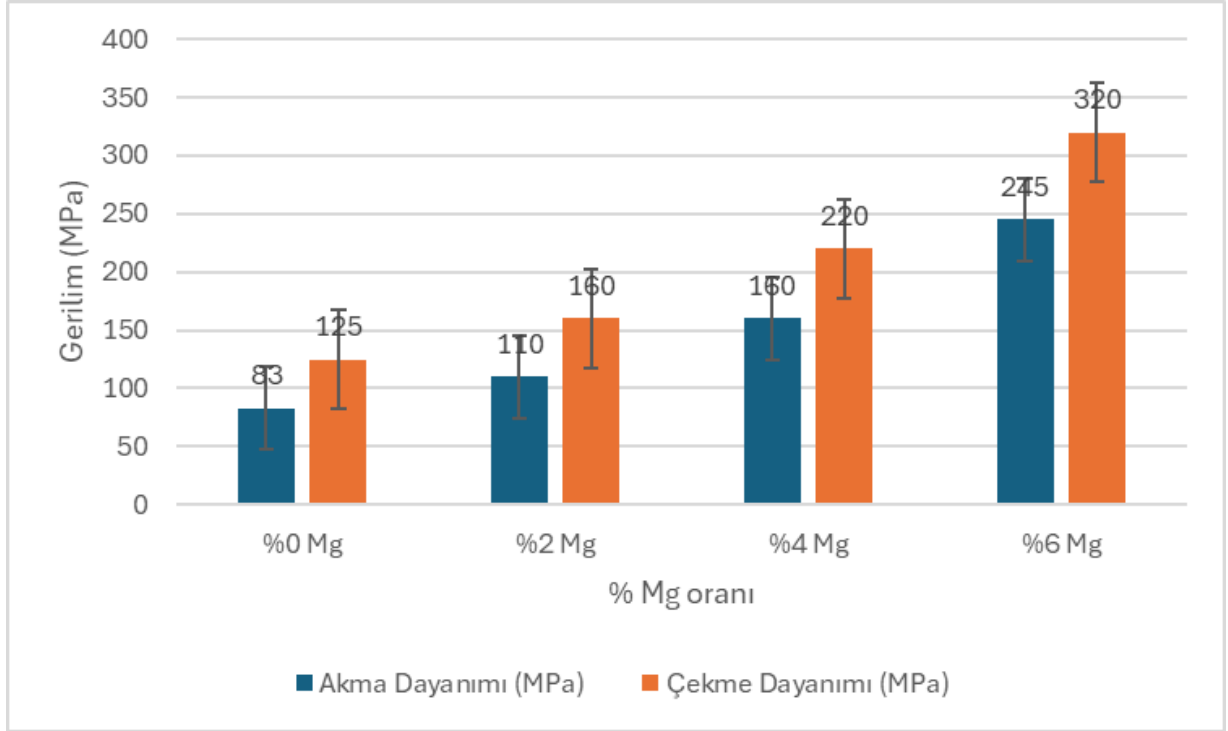
arasındaki mesafe yaklaşık olarak 100 μm olarak ölçülürken, Görsel 2.b ve c’de verilen ağı. %2 Mg ve %4 Mg içeren numunelerin ikincil dentrit kolları arasındaki mesafenin büyük önemde düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum yoğunluk ölçümünde de bahsedilen ve gözeneklilik düşüşünün nedeni olarak görülen katılaşma davranışının iyileşmesinden kaynaklanmaktadır. Görsel 2.d’de verilen ağı. %6 Mg içeren numunede ise dentrit kolları arasındaki mesafenin diğer iki Mg ilave oranına göre daha yüksek olduğu ve dentrit kolları arasında daha geniş siyah bölgeler olan boşlukların büyüdüğünü göstermiştir.



Görsel 2. Al-Zn ve Al-Mg-Zn alaşımları mikroyapı görüntüleri a) ağı. %0 Mg b) ağı. %2 Mg c) ağı. %4 Mg d) ağı. %6 Mg

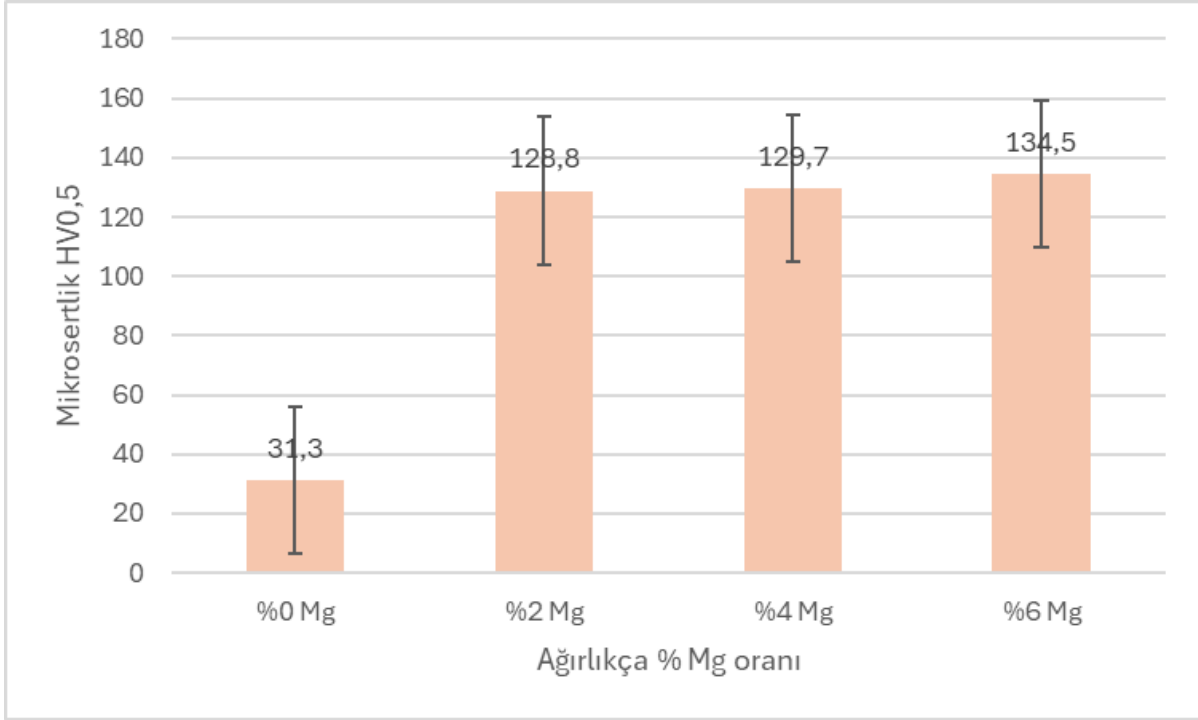
Görsel 3. te verilen artan Mg alaşım elementine göre akma ve çekme dayanımı sonuçları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Mg alaşım elementi bulunmayan Al-Zn alaşımının akma dayanımı ve çekme dayanımı sonuçları sırasıyla 83 MPa ve 125 MPa olarak ölçülmüştür. Ağı.

%2 Mg alaşımların katkılarıyla akma dayanımı 110 MPa, çekme dayanımı 160 MPa 'a yükselmiştir. %4 Mg ilavesinde ise akma dayanımı 160 MPa, çekme dayanımı 220 MPa'a yükselirken en yüksek akma ve çekme dayanımı 245 ve 320 MPa değerleri ile ağırlıkça %6 Mg alaşımların ilavesinde görülmüştür. Al-Zn alaşımlarına Mg ilave edilmesiyle katı çözelti mukavemetlenmesi Al – Zn – Mg esaslı intermetalik fazların oluşması dayanım değerlerini arttırmıştır.



Görsel 3. Al-Mg-Zn alaşımlarında artan Mg ilavesi ile akma ve çekme dayanımı değişimi

Al – Mg – Zn alaşımlarının ağırlıkça artan %Mg alaşımları ile mikrosertlik değişimi Görsel 4.'te verilmiştir. Mikrosertlik sonuçları incelendiğinde Mg alaşımların içermeyen Al-Zn alaşımların sertlik değeri ortalama 31,3 HV değerinde ölçülürken %2 Mg ilavesi ile 123,8 HV değerinde, % 4 Mg alaşımların ilavesinde 129,7 HV ve %6 Mg içeriğinde 134,5 HV olarak ölçülmüştür. Mikrosertlikteki bu artış, Mg ilavesinin Al-Zn esaslı döküm alaşımlarında katı çözelti sertleşmesi ve intermetalik faz oluşumlarıyla açıklanabilir. Burada %0 ve %2 Mg içeriğine sahip iki alaşım arasındaki büyük fark alaşımların sertleşmesini göstermektedir. Belirli bir Mg oranına ulaşıldığı zaman, artış Mg içermeyen alaşımlarda olduğu kadar büyük değişim göstermemiştir.



Görsel 4. Artan ağırlıkça %Mg oranına göre Al-Mg-Zn alaşımlarının mikrosertlik değerleri

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Sabit %6 Zn içeriğine sahip Al-Zn alaşımlarına Mg ilavesi, döküm yapısının ve mekanik özelliklerin önemli ölçüde iyileşmesini sağlamıştır.

Gözeneklilik oranı Mg ilavesiyle birlikte azalmış, en düşük gözeneklilik değeri %0,15 ile %4 Mg içeren alaşımda elde edilmiştir. Ancak Mg oranının %6'ya yükselmesi durumunda gözeneklilik yeniden artarak %2,2 seviyesine ulaşmıştır.

Mikroyapı incelemeleri, %2 ve %4 Mg ilavesinin ikincil dentrit kol aralıklarını azaltarak daha ince ve homojen bir yapı oluşturduğunu göstermiştir. %6 Mg içeren alaşımda ise dendritler arası boşlukların genişlediği ve mikroyapısal heterojenliğin arttığı gözlenmiştir.

Akma dayanımı ve çekme dayanımı Mg oranındaki artışla birlikte sürekli yükselmiştir.

Mikrosertlik değerleri Mg ilavesiyle önemli ölçüde artmış, Mg içermeyen alaşımda 31,3 HV olan sertlik değeri %6 Mg ilavesiyle 134,5 HV seviyesine yükselmiştir. En büyük sertlik artışı %0 Mg ile %2 Mg içerikli alaşımlar arasında gerçekleşmiştir.

Mg ilavesi sonucunda elde edilen dayanım ve sertlik artışları, katı çözelti sertleşmesi etkisinin yanı sıra Al-Zn-Mg esaslı intermetalik fazların oluşumu ile ilişkilendirilmiştir.

Genel olarak değeriendirildiğinde, Al-%6Zn esaslı döküm alaşımlarında Mg ilavesi mikroyapıyı rafine ederek ve mukavemetlendirme mekanizmalarını etkinleştirerek mekanik performansı artırmıştır. İncelenen alaşımlar arasında %4 Mg ilavesi, düşük gözeneklilik ve gelişmiş mikroyapısal özellikler açısından optimum bileşim olarak öne çıkarken, %6 Mg ilavesi en yüksek dayanım ve sertlik değeriilerinin elde edilmesini sağlamıştır. Bu sonuçlar, Al-Zn-Mg alaşımlarının döküm uygulamalarında bileşim optimizasyonuna yönelik önemli veriler sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Pimenov, D.Y., Kiran, M., Khanna, N. et al. Review of improvement of machinability and surface integrity in machining on aluminum alloys. *Int J Adv Manuf Technol* 129, 4743–4779 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12630-4>
- [2] Yao, S. The use of aluminum alloys in structures: Review and outlook. *Structures* 57, 105290 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105290>.
- [3] Skoko, Ž., Popović, S., & Štefanić, G. Microstructure of Al-Zn and Zn-Al Alloys. *Croatica chemica acta*, 82(2), 405-420 (2009).
- [4] Pujari, K. S., and D. V. Patil. A review on GTAW technique for high strength aluminium alloys (AA 7xxx series). *Int. J. Eng. Res. Technol* 2.8, 2477-2490 (2013)
- [5] Mae, H., Teng, X., Bai, Y., & Wierzbicki, T. Comparison of ductile fracture properties of aluminum castings: Sand mold vs. metal mold. *International Journal of Solids and Structures*, 45(5), 1430-1444 (2008).

TEK-TEK ÇEKİRDEKLERDE MANYETİK DİPOL MOMENTLERİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİYLE MODEL İNCELENMELERİ

Ahmet Kemal ACAR

Sakarya Üniversitesi,
ahmet.acar17@ogr.sakarya.edu.tr - 0009-0007-9591-9683

Prof.Dr. Hakan YAKUT

Sakarya Üniversitesi,
hyakut@sakarya.edu.tr - 0000-0002-3903-5863

Dr. Elif KEMAH

Sakarya Üniversitesi-
elifkemah@sakarya.edu.tr-0000-0001-9512-5524

ÖZET

Çekirdeklerin manyetik dipol (MD) momentleri, nükleer yapının hem tek-parçacık hem de kolektif bileşenleri hakkında bilgi sağlar. Hem proton hem de nötron sayısının tek olduğu, yani tek-tek (odd-odd) çekirdekler için bu momentlerin tahminleri sistematik olarak sınırlı sayıda çalışılmıştır ve makine öğrenmesi yöntemleriyle yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, 267 tek-tek çekirdeğin MD momentlerini veri-güdümlü modeller kullanarak tahmin etmek ve bu modellerin güvenilirlik sınırlarını belirlemektir. Deneysel moment değerleri uluslararası nükleer veri derlemelerinden alınmıştır. Her çekirdek için kütle sayısı, proton sayısı, çekirdek spini ve sihirli sayı yakınlığı girdi olarak kullanılmıştır. Random Forest (RF), XGBoost, CatBoost ve uyarlanabilir bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modelleri eğitilmiştir ve başarımları çapraz doğrulama ile farklı rastgele başlangıçlar kullanılarak sınanmıştır. Sonuçlar, manyetik momentin veri-güdümlü yöntemlerle güvenilir şekilde tahmin edilebildiğini göstermektedir. Ayrıca, manyetik momenti bilinmeyen çekirdekler için yapılacak öngörülerin gelecekteki ölçümler için bir referans sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tek-tek çekirdekler, manyetik dipol moment, ANFIS, RF, XGBoost, CatBoost.

Bu çalışma, Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAPK) tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2024-25-54-60).Çalışmadaki nümerik hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM, Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi'nde (TRUBA kaynaklarında) gerçekleştirilmiştir.

**INVESTIGATING THE EFFECT OF COLD SIDE INLET MODIFICATION ON THE
OVERALL BEHAVIOR OF A SHELL AND HELICALLY COILED HEAT
EXCHANGER: A NUMERICAL STUDY**

Ataollah KHANLARI

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Tarsus University, Mersin,
Türkiye,

E-mail Adresi: atahanlar@tarsus.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9691-9799

ABSTRACT

Shell and helically coiled tube heat exchangers (SHCTHEs) are widely recognized for their superior thermal performance and are extensively employed in industrial heat transfer applications. In this study, a modified SHCTHE configuration featuring a redesigned cold-side inlet was numerically investigated to evaluate its influence on the exchanger's thermohydraulic behavior. Unlike conventional horizontal designs, where the shell-side fluid enters from the bottom, the proposed configuration introduces the cold fluid through a side-mounted inlet to intensify shell-side swirling motion and improve fluid mixing around the helical coil. Computational fluid dynamics (CFD) simulations were carried out for two hot-side flow rates and five cold-side flow rates to examine the thermal response of the proposed design under different operating conditions. The numerical findings indicate that relocating the cold-side inlet enhances the overall heat transfer process by promoting stronger interaction between the working fluids. Compared with the conventional configuration, the modified heat exchanger achieved improved thermal performance, as evidenced by lower hot-fluid outlet temperatures, favorable cold-fluid exit temperatures, and higher energy transfer rates. These results demonstrate that optimizing the shell-side inlet arrangement can be an effective approach for improving the effectiveness of shell-and-helically coiled tube heat exchangers without altering their primary structural configuration.

Keywords: heat exchanger; shell and helically coiled; cold side inlet; numerical simulation

1. INTRODUCTION

Heat exchangers play a fundamental role in thermal engineering systems by enabling efficient energy transfer between fluids operating at varying temperatures. Their performance directly affects the efficiency, energy consumption, and operational reliability of numerous industrial processes. Depending on application requirements, heat exchangers are available in various configurations that differ in geometry, flow arrangement, heat transfer mechanism, and structural design.

Among these configurations, SHCTHEs have received considerable attention because their coiled tube geometry generates secondary flow structures that enhance fluid mixing and improve heat transfer. Owing to these advantages, SHCTHEs are increasingly employed in many engineering applications, including food processing, chemical production, fabrication processes, thermal power systems, waste heat recovery technologies, and environmental engineering processes.

Research on SHCTHEs has been extensively conducted through both experimental investigations and numerical simulations. In particular, CFD has become one of the most effective tools for analyzing flow behavior, temperature distribution, and overall thermohydraulic performance while reducing the need for costly experimental studies. Consequently, numerous researchers have proposed different geometric modifications and operating strategies to further improve the thermal efficiency of SHCTHEs.

Several representative studies are briefly summarized here. Andrzejczyk and Muszynski [1] numerically examined the influence of shell-side obstacles on the thermal behavior of SHCTHEs. Omid et al. [2] examined the effects of lobed tube cross-sections on the thermohydraulic characteristics of the exchanger using numerical simulations. Solanki and Kumar [3] demonstrated that incorporating a dimpled helical tube enhanced heat transfer and consequently improved the thermal efficiency of the exchanger. Zhang et al. [4] performed a CFD-based study to evaluate the impact of spherical corrugations on the thermal and fluid flow characteristics of SHCTHEs. Khorasani and Dadvand [5] experimentally assessed the impact of air bubble injection on the behavior of a horizontal SHCTHE. Wang et al. [6] combined experimental measurements with numerical simulations to investigate a twisted-coil

configuration and reported a noticeable improvement in heat exchanger effectiveness. Tuncer et al. [7] enhanced the thermal characteristics of an SHCTHE by integrating longitudinal fins onto the helical tube. Güngör et al. [8] explored the combined effects of nanofluids and exchanger orientation on thermal performance, whereas Güngör et al. [9] introduced a novel shell-side obstacle arrangement using rings and discs. More recently, Bacak et al. [10] proposed a hybrid enhancement technique involving spiral fins and magnetic nanofluids, while Khanlari et al. [11] experimentally and numerically evaluated the influence of porous and non-porous circular fins on SHCTHE performance.

Although many performance improvement techniques have been proposed, the influence of shell-side inlet location has received comparatively limited attention. Most previous horizontal SHCTHE designs introduce the shell-side fluid through a bottom inlet, which may restrict the development of strong swirling motion around the helical coil. Motivated by this limitation, the current work proposes a modified inlet arrangement in which the cold water enters the shell from the side. This configuration is intended to intensify shell-side circulation, strengthen fluid mixing around the coil, and improve the overall heat transfer capability of the exchanger. The thermal performance of the proposed design is evaluated numerically under various hot- and cold-side flow conditions and compared with that of the traditional configuration.

2. SYSTEM DESIGN AND SIMULATION

The SHCTHE investigated in this study was developed by considering the design characteristics reported in previous SHCTHE studies [8, 12]. Unlike the conventional horizontal configuration, the present design incorporates a modified shell-side inlet in which the cold fluid enters from the lateral surface of the shell. This arrangement was introduced to strengthen the swirling motion of the shell-side flow, thereby increasing fluid circulation around the helical tube and promoting more effective heat exchange. A three-dimensional representation of the proposed geometry is illustrated in Figure 1.

The primary objective of relocating the cold-fluid inlet is to increase the interaction among the shell-side flow and the helically coiled tube. In conventional SHCTHE designs, the cold fluid generally enters through the lower section of the shell, resulting in a comparatively weaker circulation pattern. By positioning the inlet on the shell wall, the cold fluid is forced to follow a more rotational flow path before leaving the exchanger, which is expected to enhance convective heat transfer.

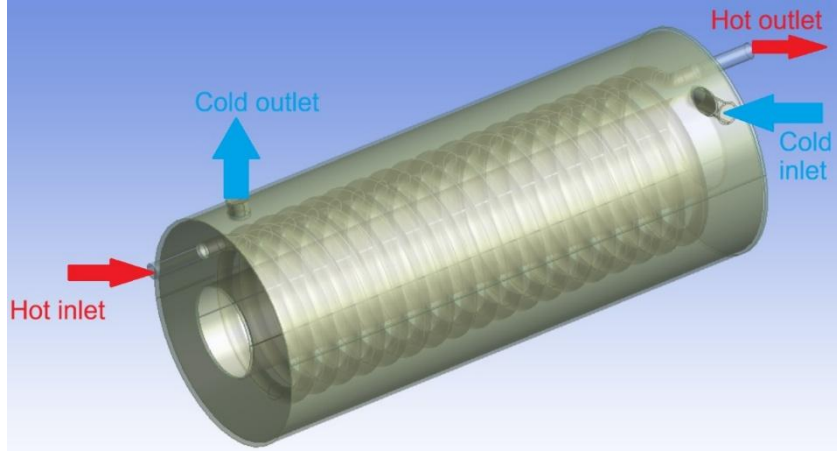


Figure 1. Geometry of the proposed heat exchanger with modified cold side inlet

The overall shell length of the proposed heat exchanger is 340 mm, while the effective length of the helically coiled tube is 300 mm. The coil diameter and tube outer diameter are 100 mm and 10 mm, respectively. These geometric parameters were selected to ensure consistency with similar SHCTHE configurations available in the literature while allowing a direct evaluation of the proposed inlet modification.

Following the completion of the three-dimensional geometry, the computational domain was discretized utilizing a suitable grid for CFD analysis. Since the numerical accuracy strongly depends on mesh quality, a mesh independence study was performed before conducting the simulations. Several mesh densities were examined until further refinement produced only negligible variations in the calculated thermal parameters. Based on this assessment, the final computational grid containing 20,252,562 elements was adopted for all simulations.

Mesh quality was further evaluated using skewness statistics. The selected mesh exhibited a highest skewness value of 0.81 and a mean value of 0.19, indicating an acceptable computational grid capable of providing stable and reliable numerical predictions throughout the solution domain.

The thermal and hydrodynamic characteristics of the proposed SHCTHE were examined using a three-dimensional CFD model. The governing balance equations describing conservation of mass, momentum, and energy were simultaneously solved to determine the flow field and heat transfer process inside the exchanger [13].

Continuity balance equation could be presented as:

$$\nabla \cdot (\rho \cdot \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

Momentum equation can be given as:

$$\nabla \cdot (\rho \cdot \vec{v} \cdot \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu [(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I]) \quad (2)$$

Energy balance equation can be expressed using Eq. (3):

$$\nabla \cdot (\vec{V}(\rho E + p)) = \nabla \cdot k_{eff} \nabla T - h \vec{j} + (\mu [(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} I] \cdot \vec{v}) \quad (3)$$

The complex geometry of helically coiled tubes naturally generates turbulent flow structures over a wide range of operating conditions. For this reason, the RNG ($k-\varepsilon$) turbulence model was preferred due to its well-established capability to predict recirculation regions, swirling flows, and turbulent transport in heat transfer applications. The governing transport balance for turbulent kinetic energy and its dissipation rate were utilized together with the conservation balance to accurately capture the turbulent behavior inside the exchanger [14].

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k v_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon v_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon \quad (5)$$

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

Copper was preferred as the main material for the helically coil because of its high thermal conductivity, whereas stainless steel was assigned to the shell, following material specifications commonly adopted in previous investigations. Water was employed as the working medium on two sides of the heat exchanger.

The numerical simulations were performed under steady-state conditions. The inlet temperatures of the cold and hot streams were fixed at 288 K and 338 K, respectively. Five different shell-side flow rates (2, 3, 4, 5, and 6 lpm) were combined with two tube-side flow rates (3 and 4 lpm) to evaluate the thermal response of the modified configuration under various operating conditions.

Pressure-velocity coupling was achieved by applying the SIMPLEC algorithm, while the governing balances were discretized using a second-order upwind scheme to improve numerical accuracy. Convergence was assumed when the residual values reached 10^{-5} for continuity and velocity equations and 10^{-7} for the energy equation, ensuring that all solutions satisfied the prescribed convergence criteria before post-processing.

3. OUTCOMES AND DISCUSSION

This section presents the CFD results obtained for the proposed SHCTHE configuration and discusses the influence of the modified shell-side inlet on the thermal performance of the heat exchanger. The principal objective of the new inlet arrangement is to intensify the rotational motion of the cold fluid within the shell, thereby improving fluid mixing around the helically coiled tube and increasing the overall heat transfer capability. Numerical simulations were carried out for two hot-fluid flow rates and five different cold-fluid flow rates to evaluate the thermal response of the proposed configuration under various operating conditions.

Figure 2 illustrates the surface temperature distribution along the helically coil tube. As the hot fluid passes through the coil, its temperature gradually decreases because of continuous heat transfer to the colder shell-side fluid. The smooth temperature transition observed over the tube surface indicates that thermal energy is effectively transferred throughout the entire length of the coil rather than being concentrated in a limited region. This behavior confirms the ability of the modified exchanger to maintain continuous heat exchange during operation.

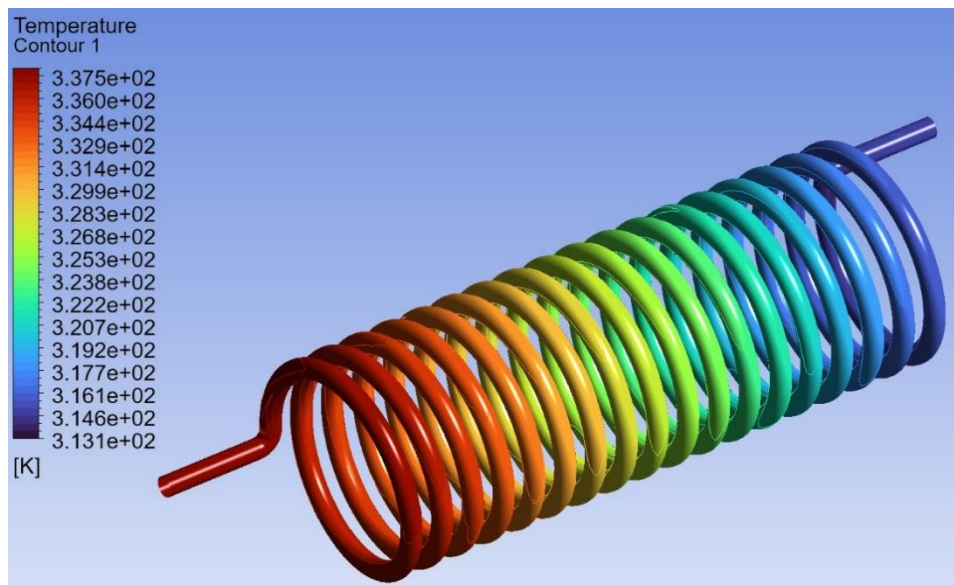


Figure 2. Surface temperature distribution of the helically coil

The three-dimensional temperature field inside the SHCTHE is presented in Figure 3 using temperature volume rendering. This visualization clearly demonstrates the thermal interaction between the two working fluids and provides valuable insight into the heat transfer mechanism within the exchanger. Higher temperatures are concentrated near the hot-fluid inlet, whereas the thermal field gradually decreases along the flow direction as energy is transferred to the

surrounding cold fluid. Compared with conventional configurations reported in previous studies, the modified inlet promotes a more uniform temperature distribution within the shell, indicating improved fluid circulation and stronger mixing around the helical tube.

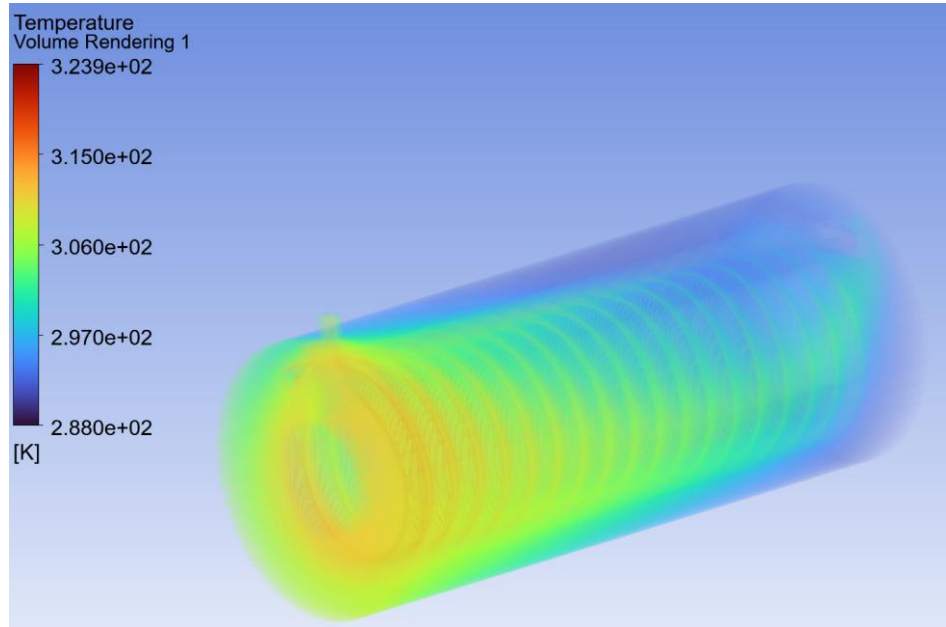


Figure 3. A 3D view of temperature volume rendering inside the heat exchanger

The variation of the hot-loop outlet temperature with respect to the cold-loop flow rate is presented in Figure 4. Increasing the shell-side flow rate from 2 to 6 lpm results in a continuous reduction in the outlet temperature of the hot stream for both investigated hot-loop flow conditions. This trend can be attributed to the enhancement of convective heat transfer caused by the higher cold-fluid velocity, which enables a greater amount of thermal energy to be gained from the hot fluid before it leaves the exchanger. The results also indicate that the modified inlet configuration effectively utilizes the increased shell-side flow to improve cooling performance.

Figure 5 presents the cold-side outlet temperature obtained under different operating conditions. Although increasing the cold-fluid flow rate raises the convective heat transfer coefficient, the outlet temperature of the cold stream gradually reduces as the flow rate increases. This behavior is associated with the reduction in residence time inside the shell, which limits the temperature rise of the cold fluid despite the improved heat transfer conditions. Furthermore, slightly higher outlet temperatures are observed for the 4 lpm hot-side flow rate compared with the 3 lpm case, particularly at higher shell-side flow rates. This outcome is expected because the larger hot-fluid mass flow rate carries greater thermal energy into the exchanger, allowing more heat to be transferred to the cold stream.

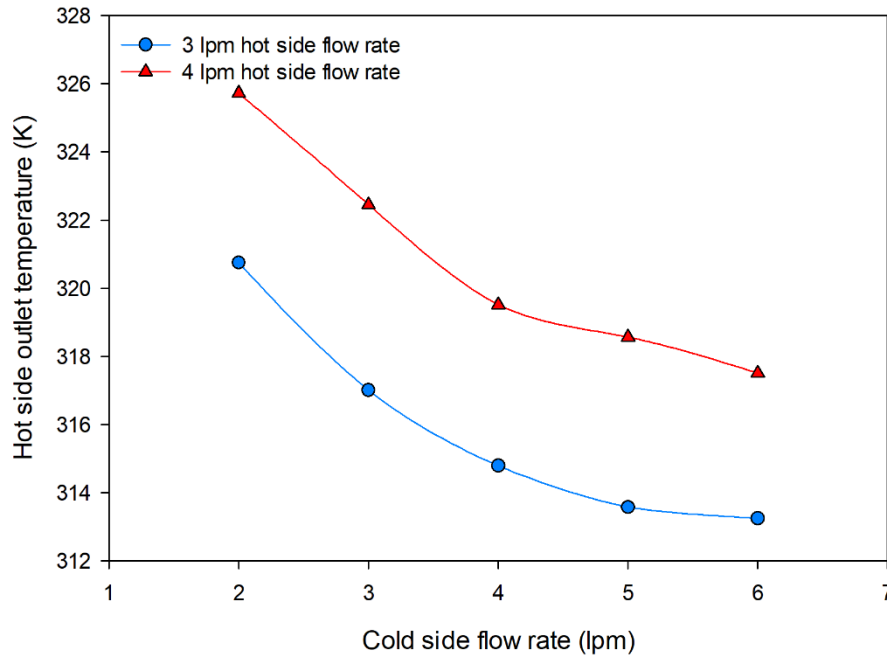


Figure 4. Outlet temperature variation of hot side via cold side flow rate

Figure 6 illustrates the average heat transfer rate of the proposed SHCTHE as a function of the cold-side flow rate. The numerical results reveal a consistent increase in heat transfer with increasing shell-side flow for both hot-side operating conditions. The improvement originates primarily from the stronger convective transport generated by the higher fluid velocity together with the enhanced swirling motion produced by the modified inlet design. At relatively low shell-side flow rates, the influence of the hot-side flow rate remains limited. However, as the cold-side flow increases, the difference between the two operating conditions becomes more pronounced, with the 4 lpm hot-side flow producing higher heat transfer rates because of its greater thermal capacity. The rate of improvement gradually diminishes at the highest flow rates, suggesting that the system approaches its practical thermal performance limit under the investigated conditions.

A comparison of the present numerical outcomes with previously published SHCTHE studies indicates that relocating the shell-side inlet provides a measurable enhancement in thermal performance without requiring modifications to the primary heat exchanger geometry [8]. The proposed configuration improves cold-fluid circulation inside the shell, strengthens the interaction between the two fluid streams, and increases the overall heat transfer rate. These findings demonstrate that optimizing inlet positioning represents a practical and effective design strategy for improving SHCTHE performance while maintaining a relatively simple exchanger structure.

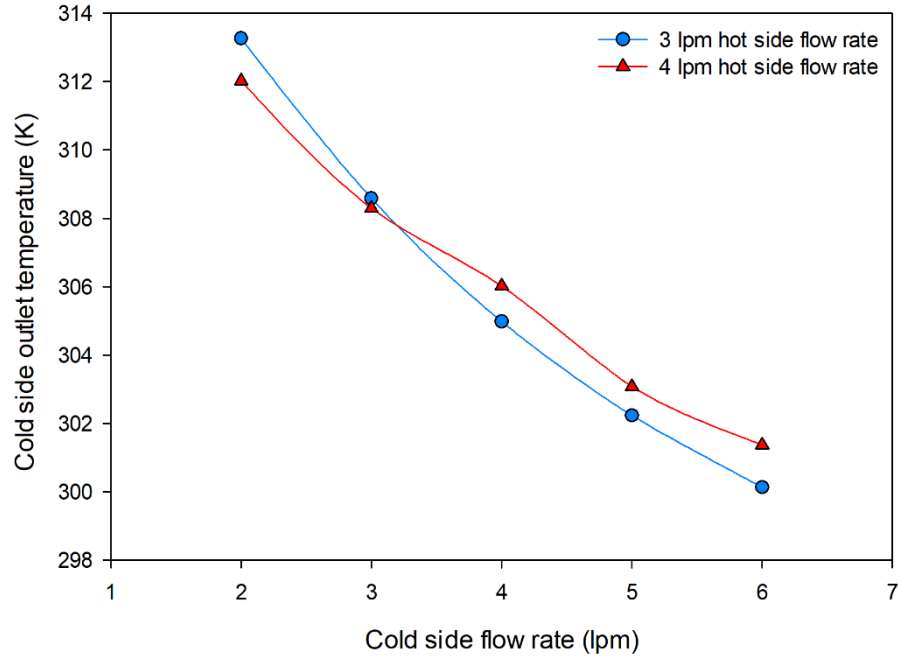


Figure 5. Outlet temperature variation of cold side via cold side flow rate

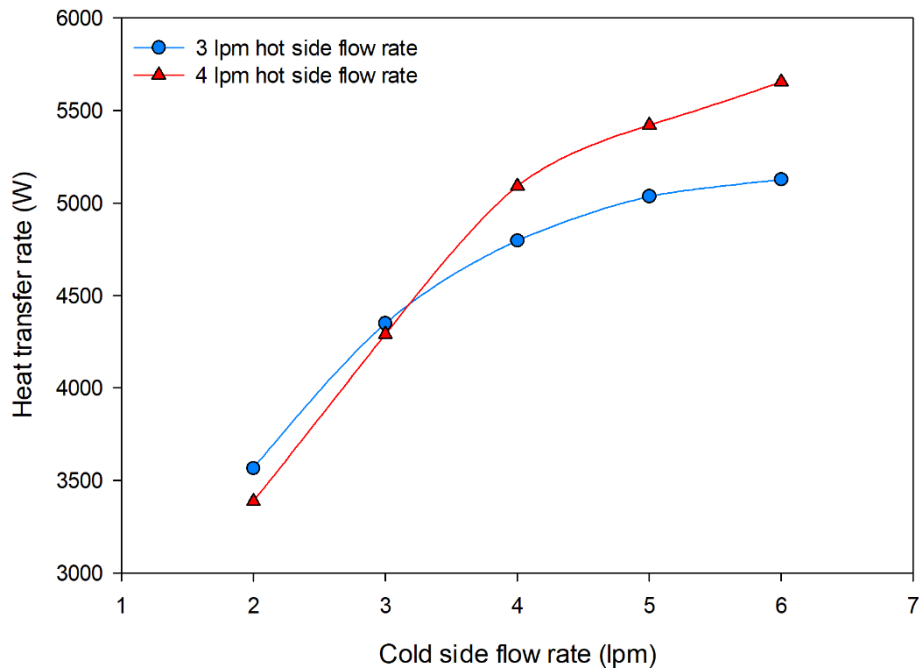


Figure 6. Variation of average transferred heat in the heat exchanger

4. CONCLUSION

A computational investigation was conducted to evaluate the influence of a modified shell-side inlet configuration on the thermohydraulic performance of a SHCTHE. In the proposed design, the cold fluid was introduced through a side-mounted inlet instead of the conventional bottom inlet to promote stronger swirling motion within the shell region. The CFD analyses were

performed under two tube-loop flow rates and five shell-loop flow rates to examine the thermal response of the modified configuration.

The numerical findings demonstrated that relocating the shell-side inlet positively affected the flow structure inside the exchanger by enhancing fluid circulation around the helical coil. As a result, heat transfer among the hot and cold streams became more effective, leading to lower hot-fluid outlet temperatures and higher overall heat transfer rates than those obtained with the conventional horizontal configuration. The proposed design therefore offers a simple geometric modification capable of improving thermal performance without introducing major structural changes to the heat exchanger.

Overall, the results indicate that optimizing the inlet arrangement can serve as an efficient design strategy for enhancing SHCTHE performance. Future research may extend the present work by combining the modified inlet configuration with advanced heat transfer enhancement techniques, such as hybrid nanofluids, porous or finned tube surfaces, optimized shell-side baffles, or multi-objective optimization methods, to further improve the thermal and hydraulic characteristics of the exchanger.

REFERENCES

- [1] Andrzejczyk, R., Muszynski, T. Thermodynamic and geometrical characteristics of mixed convection heat transfer in the shell and coil tube heat exchanger with baffles, *Applied Thermal Engineering*, 121, 115-125, 2017.
- [2] Omid, M., Farhadi, M., Darzi, A. A. R. Numerical study of heat transfer on using lobed cross sections in helical coil heat exchangers: effect of physical and geometrical parameters, *Energy conversion and management*, 176, 236-245, 2018.
- [3] Solanki, A. K., Kumar, R. Two-phase flow condensation heat transfer characteristic of R-600a inside the horizontal smooth and dimpled helical coiled tube in shell type heat exchanger, *International Journal of Refrigeration*, 107, 155-164, 2019.
- [4] Zhang, C., Wang, D., Xiang, S., Han, Y., Peng, X. Numerical investigation of heat transfer and pressure drop in helically coiled tube with spherical corrugation, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 113, 332-341, 2017.
- [5] Khorasani, S., Dadvand, A. Effect of air bubble injection on the performance of a horizontal helical shell and coiled tube heat exchanger: An experimental study, *Applied Thermal Engineering*, 111, 676-683, 2017.

- [6] Wang, G., Dbouk, T., Wang, D., Pei, Y., Peng, X., Yuan, H., Xiang, S. Experimental and numerical investigation on hydraulic and thermal performance in the tube-side of helically coiled-twisted trilobal tube heat exchanger, *International Journal of Thermal Sciences*, 153, 106328, 2020.
- [7] Tuncer, A. D., Sözen, A., Khanlari, A., Gürbüz, E. Y., Variyenli, H. İ. Upgrading the performance of a new shell and helically coiled heat exchanger by using longitudinal fins, *Applied Thermal Engineering*, 191, 116876, 2021.
- [8] Güngör, A., Sözen, A., Khanlari, A. Numerical investigation of thermal performance enhancement potential of using $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{/Water}$ hybrid nanofluid in shell and helically coiled heat exchangers, *Heat Transfer Research*, 53 (12), 37-54, 2022.
- [9] Güngör, A., Khanlari, A., Sözen, A., Variyenli, H. I. Numerical and experimental study on thermal performance of a novel shell and helically coiled tube heat exchanger design with integrated rings and discs, *International Journal of Thermal Sciences*, 182, 107781, 2022.
- [10] Bacak, A. Y., Khanlari, A., Tuncer, A. D., Sözen, A., Variyenli, H. İ., Vafai, K. A comprehensive numerical and experimental study on improving the thermal performance of a shell and helically coiled heat exchanger utilizing hybrid magnetic nanofluids and porous spiral-type fins, *Fluids*, 10(6), 141, 2025.
- [11] Khanlari, A., Sözen, A., Variyenli, H. I., Tuncer, A. D., Vafai, K. The effect of using circular and porous circular fins on the thermal performance of a shell and helically coiled heat exchanger: A numerical and experimental study, *International Journal of Thermal Sciences*, 214, 109894, 2025.
- [12] Tuncer, A. D., Sözen, A., Khanlari, A., Gürbüz, E. Y., Variyenli, H. İ. Analysis of thermal performance of an improved shell and helically coiled heat exchanger, *Applied Thermal Engineering*, 184, 116272, 2021.
- [13] Afshari, F., Sözen, A., Khanlari, A., Tuncer, A.D., Şirin, C. Effect of turbulator modifications on the thermal performance of cost-effective alternative solar air heater, *Renewable Energy* 158, 297-310, 2020.
- [14] Afshari, F., Zavaragh, H.G. Di Nicola, G., Numerical analysis of ball-type turbulators in tube heat exchangers with computational fluid dynamic simulations, *International Journal of Environmental Science and Technology* 16, 3771-3780, 2019.

CT IMAGE-BASED LUNG CANCER CLASSIFICATION USING HOG FEATURES AND MACHINE LEARNING MODELS

Asst. Prof. Dr. Erol KINA

Van Yüzüncü Yıl University, Özalp Vocational School,
erolkina@yyu.edu.tr - 0000-0002-7785-646X

ABSTRACT

Lung cancer classification using computed tomography (CT) images is an important task for supporting image-based diagnostic evaluation. This study aimed to develop a HOG-driven machine learning framework for classifying lung CT images into benign, malignant, and normal categories using the IQ-OTH/NCCD lung cancer CT image dataset. The dataset included 1097 CT images, consisting of 120 benign, 561 malignant, and 416 normal images. All images were converted to grayscale, resized to 96×96 pixels, and represented using Histogram of Oriented Gradients (HOG) features. Logistic Regression, Support Vector Machine, K-Nearest Neighbors, Random Forest, Extra Trees, Gradient Boosting, XGBoost, LightGBM, and CatBoost models were comparatively evaluated. Model performance was assessed using a stratified holdout test for all models, while stratified 5-fold cross-validation was additionally applied to the selected models showing competitive holdout performance. In the holdout test, Logistic Regression and LightGBM achieved the highest accuracy of 0.991, while K-Nearest Neighbors achieved 0.986 accuracy, 0.991 balanced accuracy, and 0.990 macro F1-score. In cross-validation, K-Nearest Neighbors showed the strongest robustness, with 0.976 mean accuracy, 0.946 balanced accuracy, and 0.956 macro F1-score. Class-wise analysis demonstrated high reliability across all classes, including the underrepresented benign class. HOG visualizations showed that edge orientations, local gradients, and texture-related structural patterns contributed to image representation. The findings indicate that HOG-derived features combined with machine learning provide an effective framework for CT image-based lung cancer classification.

Keywords: Lung cancer classification, CT image analysis, HOG features, machine learning, K-Nearest Neighbors, medical image classification

1. INTRODUCTION

Lung cancer continues to represent a major public health challenge worldwide, largely because of its substantial incidence and persistently high mortality rates. Global cancer statistics indicate that lung cancer is among the most frequently diagnosed cancers worldwide and remains the

leading cause of cancer-related mortality (Bray et al., 2024). Early and accurate evaluation of lung abnormalities is therefore critical for improving diagnostic decision-making and treatment planning. Medical imaging, particularly computed tomography (CT), plays a central role in the detection, characterization, and follow-up of lung lesions. CT images provide detailed structural information about lung tissue and allow clinicians to evaluate suspicious regions that may correspond to benign, malignant, or normal findings (Li et al., 2022).

Artificial intelligence and machine learning techniques have seen growing application in medical image analysis in recent years. These methods can assist in extracting quantitative patterns from imaging data and may contribute to more objective and reproducible classification. In lung cancer imaging, machine learning-based approaches are particularly useful because CT images contain complex structural, textural, and intensity-related patterns that may be difficult to evaluate consistently by visual inspection alone. Previous studies have shown that automated CT image analysis can support pulmonary nodule detection and classification, highlighting the potential of computational models in lung cancer-related imaging tasks (Nasrullah et al., 2019; Li et al., 2022).

A critical component of conventional machine learning approaches to image classification is feature extraction. In this context, the Histogram of Oriented Gradients (HOG) descriptor provides a structured representation of local edge orientations, gradients, contours, and texture-related patterns in images. HOG-based feature extraction has also been used in medical image classification studies because it can represent edge- and texture-oriented visual characteristics in a compact numerical form (Sharma et al., 2023). Since CT images contain diagnostically relevant structural differences, HOG-based descriptors may be useful for transforming image information into numerical feature vectors suitable for machine learning classifiers. Compared with end-to-end deep learning approaches, HOG-driven machine learning models may also offer a more lightweight and computationally efficient framework, especially for studies based on relatively limited image datasets.

The IQ-OTH/NCCD lung cancer CT image dataset offers a reliable resource for assessing classification approaches based on computed tomography images. It comprises CT slice images representing normal lung tissue as well as benign and malignant lung cancer cases, with annotations performed by specialists in oncology and radiology. The presence of three diagnostic classes makes it possible to assess not only cancer-related classification but also the distinction between benign, malignant, and normal imaging patterns. However, the dataset has an unequal class distribution, with fewer benign images than malignant and normal images. Therefore, class-sensitive evaluation metrics are required in addition to overall accuracy because conventional accuracy and F1-based evaluations may provide incomplete performance information when class distributions are uneven (Chicco & Jurman, 2020; Saito & Rehmsmeier, 2015).

Although many image classification studies report overall accuracy as the main performance indicator, accuracy alone may be insufficient when class distributions are imbalanced. In such cases, models may appear successful by performing well on majority classes while showing weaker performance on underrepresented classes. For this reason, balanced accuracy, macro-

averaged recall, and macro-averaged F1-score provide a more reliable basis for evaluating model behavior across all classes. In medical image classification, this issue is particularly important because errors in minority or clinically meaningful classes may reduce the practical reliability of a model (Sokolova & Lapalme, 2009).

The present study was structured around the development of a CT-based lung cancer classification pipeline in which handcrafted image descriptors were integrated with conventional and ensemble machine learning algorithms. For this purpose, the IQ-OTH/NCCD dataset was used as the experimental image source. Following the standardization of CT images through preprocessing, histogram of oriented gradients (HOG) descriptors were computed to capture local edge, contour, and gradient-related patterns that may reflect diagnostically relevant structural differences among lung CT images.

The extracted HOG representations were then used as input features for a broad set of classifiers, including Logistic Regression, Support Vector Machine, K-Nearest Neighbors, Random Forest, Extra Trees, Gradient Boosting, XGBoost, LightGBM, and CatBoost. All models were evaluated under a common experimental protocol to allow a consistent comparison of their classification behavior. The first stage of evaluation relied on a stratified holdout test design, thereby preserving the proportional distribution of diagnostic classes during data partitioning. Algorithms showing comparatively strong performance in this initial assessment were subsequently subjected to stratified 5-fold cross-validation, enabling a more reliable examination of their stability and generalization ability across different data splits.

The principal contribution of this work lies in its integrated evaluation strategy, which combines HOG-based feature representation, comparative machine learning analysis, class-specific performance assessment, and visual examination of the feature extraction procedure. Instead of relying solely on aggregate accuracy values, the study adopts a balanced and class-aware evaluation perspective. Accordingly, the proposed framework enables a more detailed assessment of machine learning performance in distinguishing benign, malignant, and normal lung CT images.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Dataset

The present study employed the IQ-OTH/NCCD lung cancer CT image dataset to develop and evaluate CT-based lung cancer classification models. The dataset is openly accessible in Mendeley Data under the title “The IQ-OTH/NCCD lung cancer dataset” (Version 4). Although the image files used in this work were obtained via Kaggle, the dataset was cited with reference to its original Mendeley Data record. This dataset has previously served as a benchmark resource in CT-based lung cancer diagnosis studies involving CNN- and SVM-oriented classification strategies. Accordingly, both the dataset and its methodological context were referenced in line with the citation details recommended by the original data source (Al-Yasriy et al., 2020; Kareem et al., 2021; Alyasriy & Al-Huseiny, 2023).

The IQ-OTH/NCCD dataset was originally compiled as a clinically annotated lung CT image collection comprising 1190 CT slices from 110 individual cases. According to the dataset records, these cases represent three diagnostic conditions: normal lung findings, benign lesions, and malignant lung cancer. At the case level, the dataset includes 55 normal, 15 benign, and 40 malignant cases. The diagnostic labeling process was carried out by oncology and radiology specialists from the contributing medical centers, which provides clinical support for the reliability of the class assignments. The CT scans were acquired in DICOM format with a Siemens SOMATOM CT scanner. The reported imaging protocol involved a tube voltage of 120 kV, 1 mm slice thickness, a window width of 350–1200 HU, and a window center of 50–600 HU.

For the analyses performed in the present work, the computational dataset consisted of 1097 CT images. These images were organized at the image level into benign, malignant, and normal categories. The final class distribution included 120 benign images, 561 malignant images, and 416 normal images. Given this diagnostic structure, the modeling procedure was formulated as a three-class CT image classification task.

The class distribution of the dataset used in the study is presented in Table 1.

Table 1. Class distribution of the IQ-OTH/NCCD lung cancer CT image dataset

Class	Number of images	Percentage (%)
Benign	120	10.94
Malignant	561	51.14
Normal	416	37.92
Total	1097	100.00

Table 1 indicates an imbalanced class distribution, with malignant images constituting the largest group and benign images representing the smallest group. Owing to this imbalance, model evaluation could not rely solely on overall accuracy. To obtain a more class-aware assessment, balanced accuracy, macro-averaged precision, macro-averaged recall, and macro-averaged F1-score were reported alongside conventional accuracy. This evaluation strategy allowed the classification performance to be examined more reliably across the benign, malignant, and normal categories.

2.2. Image Preprocessing and Feature Extraction

Prior to model construction, the CT images underwent a preprocessing stage to ensure a consistent input format for subsequent feature extraction and classification procedures. Since the dataset consisted of image files organized in separate class folders, each image was first read from its corresponding class directory and assigned the appropriate class label. The three target classes were defined as benign, malignant, and normal.

To minimize variability arising from differences in image dimensions and file characteristics, each CT image was transformed into grayscale and resampled to a uniform size. In this study, images were resized to 96×96 pixels before feature extraction. Grayscale conversion was preferred because the diagnostic information in CT images is primarily represented by intensity-based structural patterns rather than color information. This step also reduced computational complexity and provided a consistent image representation for all models.

Following the preprocessing stage, histogram of oriented gradients (HOG) descriptors were computed for each CT image to characterize local gradient patterns. HOG is a widely used feature extraction method that represents local edge orientations and structural patterns in images. Previous medical image analysis studies have used HOG-based representations to capture structural and gradient-based visual information from medical images (Bhattarai et al., 2023; Ayalew et al., 2022). In the context of lung CT images, this approach enables the extraction of texture- and shape-related information that may help distinguish normal, benign, and malignant cases. The extracted HOG feature vectors were then used as input variables for machine learning classifiers.

After the feature vectors had been generated, the dataset was partitioned into training and testing sets through a stratified sampling procedure. This strategy ensured that benign, malignant, and normal images were proportionally represented in both subsets, thereby reducing the risk of biased model evaluation. Such a procedure was especially relevant given the comparatively limited number of benign images relative to the malignant and normal categories. Beyond the stratified holdout evaluation, stratified k-fold cross-validation was further performed to provide a more robust estimate of model performance.

This preprocessing and feature extraction procedure included image loading, grayscale conversion, resizing, HOG feature extraction, label encoding, stratified data splitting, and model-ready feature matrix generation. By applying the same standardized procedure to all images, the machine learning models were trained and evaluated under consistent input conditions.

Figure 1 presents the overall methodological pipeline of the study, covering data preparation, CT image preprocessing, extraction of HOG descriptors, model training, performance assessment, cross-validation procedures, and visual examination of the feature representation process.

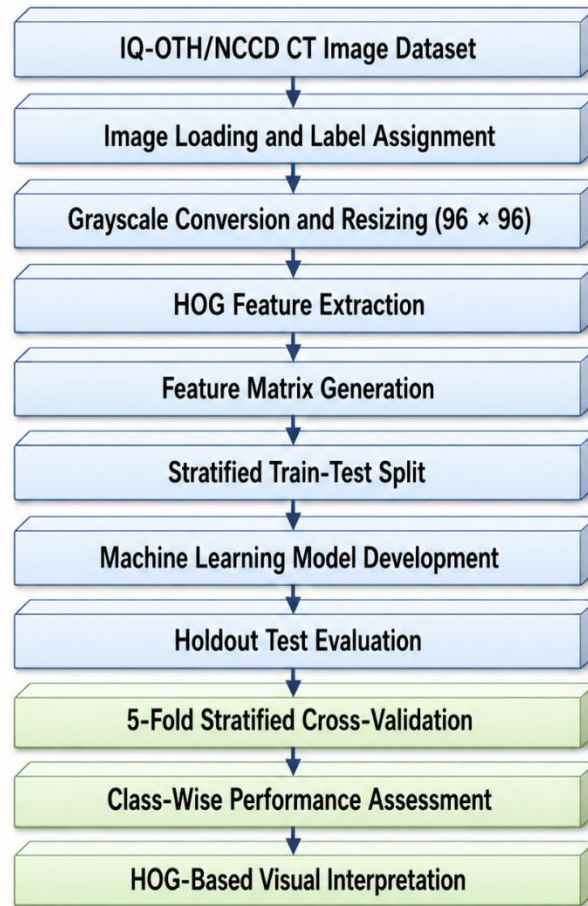


Figure 1. Methodological workflow of the proposed CT image-based lung cancer classification approach.

2.3. Machine Learning Models

In the present work, HOG-derived feature representations obtained from lung CT images were used to assess the classification performance of multiple machine learning algorithms. Since the dataset consisted of medical images and the classification task involved distinguishing benign, malignant, and normal cases, the models were selected to represent different learning strategies, including distance-based, linear, tree-based, and ensemble-based classification approaches.

The set of conventional machine learning approaches comprised Logistic Regression, Support Vector Machine, and K-Nearest Neighbors. Among these methods, Logistic Regression was employed as a linear reference model to provide a baseline for performance comparison. Support Vector Machine was included because of its ability to construct effective decision boundaries in high-dimensional feature spaces, which is relevant for HOG-based image representations. K-Nearest Neighbors was evaluated as a distance-based classifier, allowing the classification performance of local similarity patterns among extracted image features to be assessed.

In addition to classical models, tree-based and ensemble learning algorithms were also evaluated. Random Forest and Extra Trees were evaluated as tree-based ensemble classifiers, in which multiple decision trees are integrated to enhance the robustness and stability of the classification process. Gradient Boosting, XGBoost, LightGBM, and CatBoost were used as boosting-based models that sequentially improve classification performance by focusing on previously misclassified samples. These ensemble models were included because they are commonly effective on structured feature matrices and can capture nonlinear relationships among extracted image features.

To maintain comparability among the tested algorithms, all classifiers were developed and assessed using an identical HOG-based feature matrix. For the initial performance analysis, each model was evaluated on a stratified train–test partition, ensuring that the class distribution was preserved in both subsets. In addition, stratified k-fold cross-validation was performed for selected models to examine whether their performance remained consistent across alternative data splits. By combining holdout testing with cross-validation, the evaluation procedure provided a more dependable estimate of the predictive capacity of the models. Table 2 provides an overview of the machine learning algorithms evaluated in this study, together with their respective methodological functions within the classification framework.

Table 2. Machine learning models used in the study and their methodological roles

Model group	Model	Methodological role
Linear model	Logistic Regression	Baseline linear classifier
Margin-based model	Support Vector Machine	Classification in high-dimensional HOG feature space
Distance-based model	K-Nearest Neighbors	Local similarity-based classification
Bagging-based ensemble	Random Forest	Stable classification using multiple decision trees
Bagging-based ensemble	Extra Trees	Randomized tree-based ensemble comparison
Boosting-based ensemble	Gradient Boosting	Sequential error-correction-based classification
Boosting-based ensemble	XGBoost	Optimized gradient boosting model
Boosting-based ensemble	LightGBM	Efficient gradient boosting model for structured features
Boosting-based ensemble	CatBoost	Boosting model included for comparative ensemble evaluation

2.4. Performance Evaluation Metrics

Model performance was examined through a set of complementary evaluation metrics rather than a single accuracy-based criterion. Because the dataset consisted of three diagnostic categories with an imbalanced class distribution, overall accuracy alone was not considered sufficient to characterize classification behavior. Therefore, accuracy was reported together with balanced accuracy, macro-averaged precision, macro-averaged recall, macro-averaged F1-score, ROC-AUC, and confusion matrix findings.

Accuracy was interpreted as the proportion of CT images that were correctly assigned to their corresponding diagnostic classes. However, because the benign class had fewer images than the malignant and normal classes, accuracy alone could overrepresent the performance of models that classify the majority classes well. Therefore, balanced accuracy was also used to account for class-wise performance by averaging recall values across all classes.

To avoid an evaluation biased toward the numerically dominant categories, model performance was assessed using macro-averaged precision, recall, and F1-score. These metrics calculate class-level performance separately for benign, malignant, and normal images and then average the results across classes. Thus, each diagnostic category contributes equally to the final performance estimate, irrespective of the number of samples it contains. This was particularly important in the present study because the benign class was underrepresented compared with the malignant and normal classes. The macro F1-score was considered a key metric because it provides a balanced summary of precision and recall across all classes.

ROC-AUC was employed to quantify the models' capacity to distinguish among diagnostic categories under a multiclass classification scheme. When the algorithm provided class-level probability outputs, the ROC-AUC score was derived using a one-vs-rest approach, allowing each class to be evaluated against the remaining categories. In addition, confusion matrices were examined to identify which classes were correctly classified and which classes were more frequently confused with each other. This class-level evaluation was especially important for assessing the reliability of the models in distinguishing benign, malignant, and normal CT images.

2.5. Cross-Validation Strategy

To strengthen the reliability of the performance assessment, stratified k-fold cross-validation was conducted alongside the holdout test procedure. This additional validation step was intended to limit the influence of a single training–testing partition on the reported results and to examine the extent to which the models preserved stable performance across alternative data splits.

A stratified 5-fold cross-validation scheme was adopted in this study. Through stratification, the proportional representation of benign, malignant, and normal CT images was maintained

within each fold, thereby supporting a more balanced evaluation across the diagnostic categories. This was particularly important because the dataset had an unequal class distribution, with the benign class represented by fewer images than the malignant and normal classes.

For the main models that demonstrated competitive performance in the holdout test, performance metrics were calculated across the five folds, and the mean values were used to compare model robustness.

2.6. Visual Interpretation of HOG-Based Feature Extraction

Visual interpretation was performed to demonstrate how the original CT images were transformed into HOG-based structural representations before classification. Since the main modeling framework of this study was based on HOG feature extraction followed by machine learning classification, the interpretation focused on the feature extraction process rather than direct anatomical localization.

For this purpose, representative CT images from benign, malignant, and normal classes were selected and visualized together with their corresponding HOG-transformed images. The HOG visualizations were used to illustrate how edge orientations, local gradients, contour-like structures, and texture-related patterns were emphasized during feature extraction.

It should be noted that HOG visualization does not indicate lesion location or the exact anatomical region responsible for a model decision. Instead, it provides a representation-level explanation by showing how CT images are converted into edge- and gradient-oriented feature maps. Therefore, the visual interpretation in this study was used to support the transparency of the HOG-based feature extraction process.

This visual interpretation was incorporated to support the quantitative findings and to provide insight into the image characteristics captured by the machine learning classifiers. Thus, the analysis extended beyond predictive accuracy by also examining the feature representation mechanism that formed the basis of the HOG-driven classification framework.

3. RESULTS

3.1. Dataset Characteristics

As reported in Table 1, the dataset included 1097 lung CT images distributed across three diagnostic categories: benign, malignant, and normal. Malignant cases accounted for the largest subset, comprising 561 images, whereas 416 images were assigned to the normal category. By contrast, the benign category was represented by only 120 images. This distribution reflects a moderate imbalance among the classes, mainly attributable to the comparatively small number of benign samples.

The unequal distribution of images across the three classes is important for interpreting classification performance. If only overall accuracy is considered, the performance of models may be influenced more strongly by the malignant and normal classes, which have larger sample sizes. Accordingly, evaluation metrics sensitive to class imbalance, including balanced accuracy, macro-averaged recall, and macro-averaged F1-score, were incorporated to determine whether the models achieved comparable predictive performance across the three diagnostic categories.

From a methodological perspective, the dataset was suitable for evaluating CT image-based lung cancer classification because it included both pathological and non-pathological cases. The presence of benign, malignant, and normal CT images enabled the models to be tested not only for cancer-related classification but also for distinguishing malignant cases from benign and normal patterns. This three-class structure provided a meaningful basis for assessing model performance and class-wise reliability.

3.2. Holdout Test Performance of Machine Learning Models

Table 3 summarizes the holdout test performance of the evaluated machine learning algorithms. Each model was developed using HOG-derived feature vectors obtained from lung CT images and subsequently tested on a stratified test subset. Overall, the findings indicate that the HOG-based machine learning framework provided strong classification performance in differentiating benign, malignant, and normal CT image categories.

The holdout test results revealed that Logistic Regression and LightGBM yielded the highest accuracy among the tested classifiers, with both models reaching 0.991. K-Nearest Neighbors followed closely, attaining an accuracy of 0.986. However, when the evaluation was extended beyond overall correctness to account for class-level balance, K-Nearest Neighbors emerged as the most favorable model. It achieved a balanced accuracy of 0.991 and a macro-averaged F1-score of 0.990, indicating that its predictive performance was distributed more evenly across benign, malignant, and normal CT images.

Although Logistic Regression and LightGBM produced slightly higher overall accuracy values, their class-sensitive metrics were marginally lower. Both models obtained a balanced accuracy of 0.972 and a macro-averaged F1-score of 0.982. This pattern suggests that overall accuracy alone did not fully capture the comparative behavior of the classifiers, particularly in the presence of unequal class representation. Among the tree-based ensemble approaches, Extra Trees reached an accuracy of 0.982, whereas Random Forest achieved 0.959, suggesting that ensemble classifiers could effectively exploit HOG-derived representations for CT image classification. Comparable predictive results were also obtained with Linear SVM and XGBoost, which produced accuracy values of 0.964 and 0.959, respectively.

The highest ROC-AUC value was obtained by K-Nearest Neighbors, with a value of 1.000. Extra Trees, Random Forest, and LightGBM also showed very high ROC-AUC values, indicating strong class separability. Overall, the holdout test results suggest that HOG-based

structural image features provide highly discriminative information for CT image-based lung cancer classification.

Table 3. Holdout test performance of machine learning models

Model	Accuracy	Balanced Accuracy	Macro F1-score	ROC-AUC
K-Nearest Neighbors	0.986	0.991	0.990	1.000
Logistic Regression	0.991	0.972	0.982	0.998
LightGBM	0.991	0.972	0.982	0.999
Extra Trees	0.982	0.944	0.962	0.999
Linear SVM	0.964	0.899	0.922	0.968
Random Forest	0.959	0.905	0.931	0.999
XGBoost	0.959	0.895	0.923	0.997
Gradient Boosting	0.950	0.877	0.908	0.993
CatBoost	0.868	0.829	0.799	0.982

Although Logistic Regression and LightGBM achieved the highest accuracy values, K-Nearest Neighbors provided the most balanced performance across classes according to balanced accuracy and macro F1-score. This distinction is important because the dataset had an unequal class distribution, particularly with fewer benign images. Therefore, the results indicate that evaluating only accuracy may not be sufficient, and class-sensitive metrics should also be considered when selecting the most reliable model.

3.3. Cross-Validation Results

To examine model robustness in greater detail, the selected machine learning algorithms were additionally evaluated using a stratified 5-fold cross-validation procedure. The cross-validation results of the selected machine learning models are presented in Table 4. This evaluation was used to determine whether the models maintained stable classification performance across different data partitions rather than relying only on a single holdout test split.

Among the models subjected to cross-validation, K-Nearest Neighbors yielded the strongest overall performance, reaching a mean accuracy of 0.976, a mean balanced accuracy of 0.946, and a mean macro-averaged F1-score of 0.956. These findings suggest that K-Nearest Neighbors maintained the most consistent and class-balanced predictive behavior across the five validation folds. Logistic Regression also produced competitive results, with a mean accuracy of 0.939 and a macro-averaged F1-score of 0.894. Linear SVM ranked subsequently, achieving a mean accuracy of 0.923 and a macro-averaged F1-score of 0.877.

Tree-based ensemble models also produced competitive results. Extra Trees achieved a mean accuracy of 0.928, while Random Forest and XGBoost achieved mean accuracy values of 0.920

and 0.918, respectively. However, their balanced accuracy and macro F1-score values were lower than those of K-Nearest Neighbors, indicating that their performance was less balanced across the three classes, particularly for the underrepresented benign class.

The cross-validation findings supported the holdout test results by showing that K-Nearest Neighbors was not only highly accurate but also more reliable across different validation folds. The higher balanced accuracy and macro F1-score values obtained by this model suggest that it performed consistently across benign, malignant, and normal classes. Therefore, K-Nearest Neighbors can be considered the most robust model in the present classification framework.

Table 4. Five-fold stratified cross-validation results of selected machine learning models

Model	Accuracy Mean	Balanced Accuracy Mean	Macro F1-score Mean
K-Nearest Neighbors	0.976	0.946	0.956
Logistic Regression	0.939	0.898	0.894
Extra Trees	0.928	0.822	0.856
Linear SVM	0.923	0.868	0.877
Random Forest	0.920	0.814	0.848
XGBoost	0.918	0.827	0.851

3.4. Class-Wise Reliability Analysis

Class-wise reliability was evaluated using the best-performing model identified from the holdout and cross-validation results. Since K-Nearest Neighbors achieved the highest balanced accuracy and macro F1-score in the cross-validation analysis, it was selected for class-wise performance assessment. This analysis was conducted to determine whether the model performed consistently across benign, malignant, and normal CT image classes.

The class-wise performance results of the K-Nearest Neighbors model are presented in Table 5. The model achieved strong classification performance across all three classes. The malignant and normal classes were classified with particularly high reliability, while the benign class also showed high recall despite having the smallest number of images in the dataset.

Table 5. Class-wise performance of the KNN model on the holdout test set

Class	Precision	Recall	F1-score
Benign	0.923	1.000	0.960
Malignant	1.000	0.982	0.991
Normal	1.000	1.000	1.000
Macro average	0.974	0.994	0.984

The benign class achieved a recall value of 1.000, indicating that all benign CT images in the test set were correctly identified by the model. However, its precision value was lower than those of the malignant and normal classes, suggesting that a small number of images from other classes were predicted as benign. For the malignant category, the model reached a precision value of 1.000 and a recall value of 0.982, demonstrating that malignant CT images were identified with very high sensitivity and without false-positive assignments in this class. In the holdout test subset, the normal category showed flawless classification performance, with precision, recall, and F1-score all reaching 1.000.

These findings show that the K-Nearest Neighbors model provided reliable class-wise performance despite the unequal class distribution of the dataset. The strong recall values across all three classes suggest that the HOG-based feature representation was effective in capturing discriminative structural patterns in CT images. The confusion matrix presented in Figure 2 provides a more detailed view of the class-specific prediction patterns produced by the K-Nearest Neighbors model.

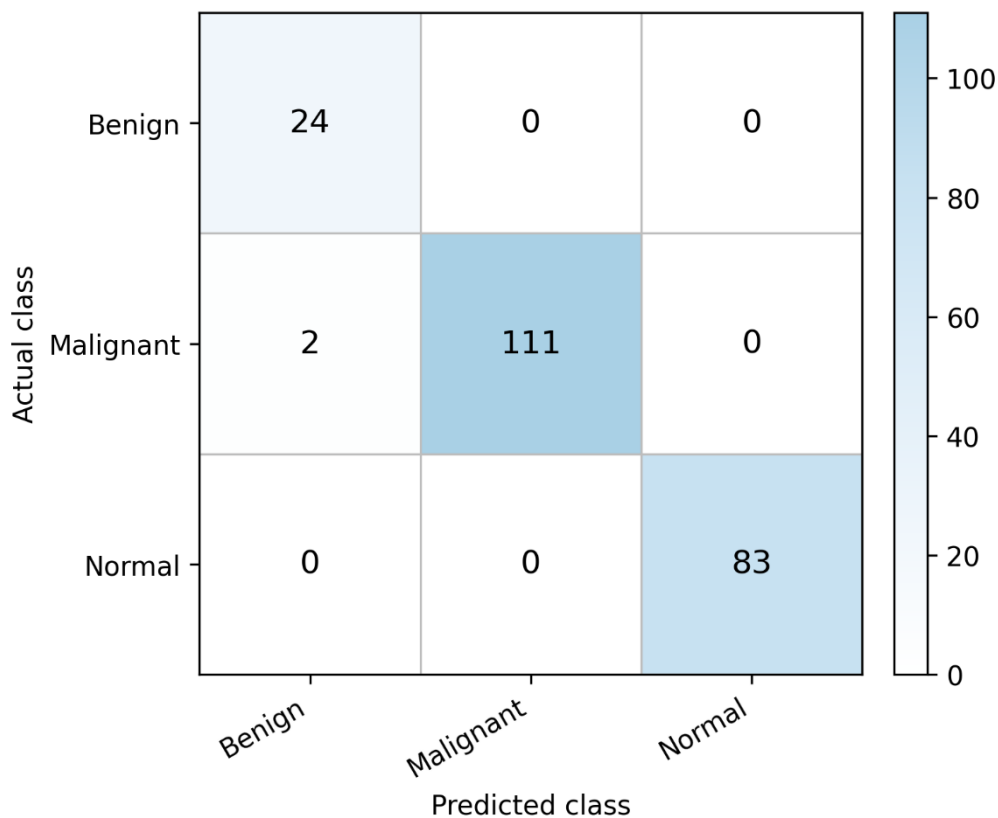


Figure 2. Confusion matrix of the K-Nearest Neighbors model on the holdout test set.

3.5. Visual Interpretation of HOG-Based Feature Extraction

In this study, the classification framework was based on HOG-derived feature vectors rather than direct end-to-end deep learning. Therefore, the visual interpretation focused on how the

original CT images were transformed into structural feature representations before being used by machine learning classifiers. Representative original CT images and their corresponding HOG visualizations are presented in Figure 3.

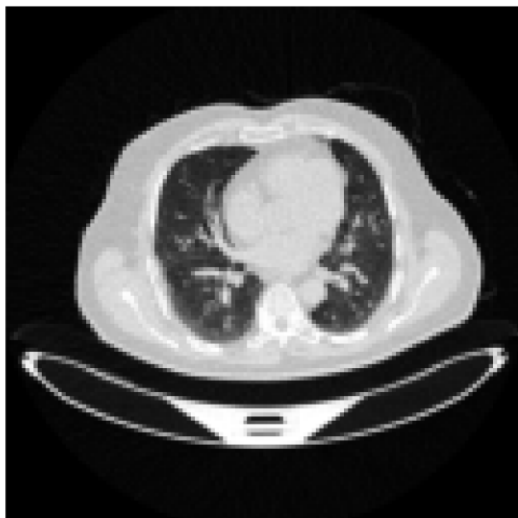
The HOG visualizations show that the feature extraction process emphasizes edge orientations, local gradient transitions, contour-like structures, and texture-related patterns in CT images. These structural representations are important because the machine learning models do not directly process the original image appearance; instead, they classify images based on numerical descriptors extracted from local intensity and edge variations.

As shown in Figure 3, the HOG-transformed images provide a simplified representation of the structural patterns present in benign, malignant, and normal CT images. This supports the interpretation that the high classification performance obtained by the machine learning models was associated with the ability of HOG descriptors to capture discriminative shape and texture information. In particular, HOG-based representation may help models distinguish differences in local structural complexity and intensity transitions among the three diagnostic classes.

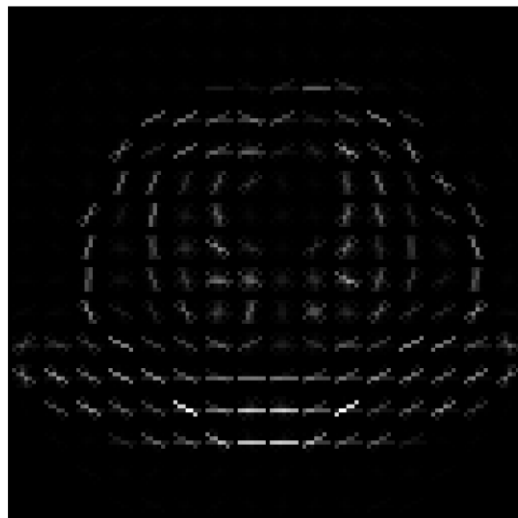
It should be emphasized that HOG visualization is not equivalent to lesion localization or heatmap-based clinical explainability. Unlike Grad-CAM or similar deep learning-based methods, HOG visualization does not indicate the specific anatomical region responsible for a model decision. Instead, it provides a representation-level explanation by showing how CT images are converted into edge- and gradient-oriented feature maps. Therefore, Figure 3 should be interpreted as a visual explanation of the feature extraction process rather than a direct clinical localization output.

The visual interpretation of HOG-based feature extraction complements the quantitative performance results by demonstrating the type of image information used in the proposed classification framework. Together with the strong holdout and cross-validation results, these findings suggest that HOG-derived structural features provide an effective representation for distinguishing benign, malignant, and normal lung CT images.

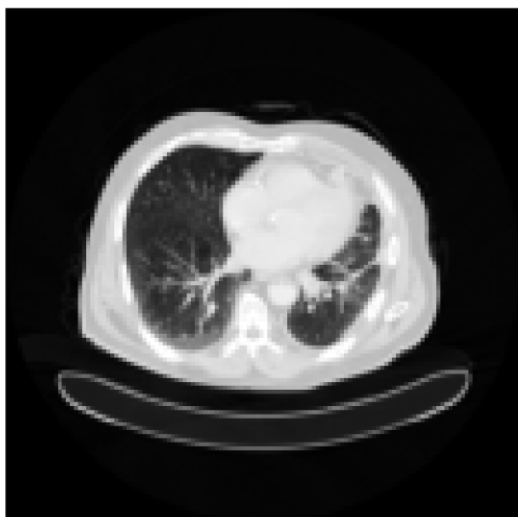
Benign - Original CT image



Benign - HOG visualization



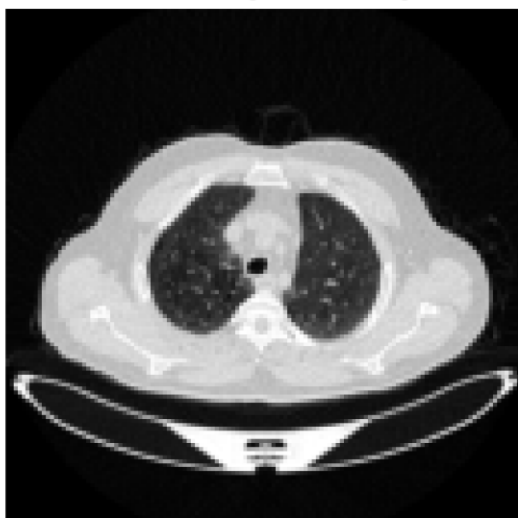
Malignant - Original CT image



Malignant - HOG visualization



Normal - Original CT image



Normal - HOG visualization

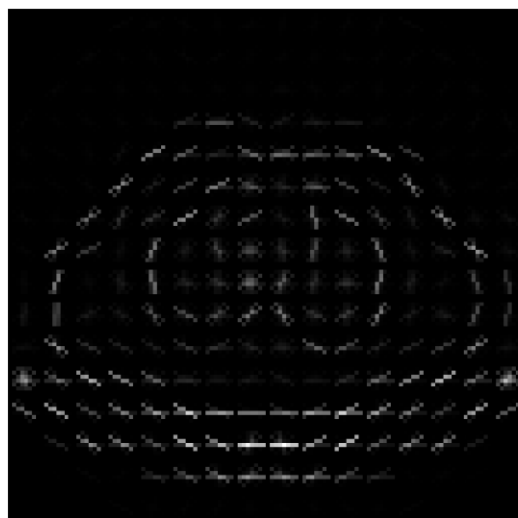


Figure 3. Representative original CT images and their corresponding HOG visualizations for benign, malignant, and normal classes.

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

This study developed a CT image-based framework for the classification of lung cases by combining handcrafted structural descriptors with machine learning algorithms. The analysis was conducted on the IQ-OTH/NCCD lung cancer CT image dataset, which included 1097 images distributed across three diagnostic categories: 120 benign, 561 malignant, and 416 normal images. The proposed workflow involved image preprocessing, extraction of histogram of oriented gradients (HOG) descriptors, supervised classification, holdout-based testing, stratified 5-fold cross-validation, class-level performance assessment, and visual examination of the extracted feature representations.

The experimental findings indicate that structural information captured by HOG descriptors can support highly accurate discrimination among benign, malignant, and normal lung CT images. In the holdout evaluation, Logistic Regression and LightGBM achieved the highest overall accuracy, with both models reaching 0.991. K-Nearest Neighbors produced a slightly lower accuracy value of 0.986; however, it outperformed the other models when class balance was taken into account, achieving a balanced accuracy of 0.991 and a macro-averaged F1-score of 0.990. This result is particularly important because it shows that the model did not favor the numerically dominant categories and retained strong discriminatory capacity across all diagnostic groups.

The reliability of the K-Nearest Neighbors model was further examined through stratified 5-fold cross-validation. Across the five folds, the model yielded a mean accuracy of 0.976, a mean balanced accuracy of 0.946, and a mean macro-averaged F1-score of 0.956. These findings demonstrate that its predictive behavior remained stable under different training and validation partitions. Thus, the high performance observed in the holdout test cannot be attributed only to a favorable single data split; rather, it reflects a robust generalization pattern within the available dataset.

The use of class-sensitive metrics was essential for interpreting the results appropriately. Because benign images were less represented than malignant and normal images, overall accuracy alone could have overestimated model reliability. The class-wise results provided a more detailed view of this issue. K-Nearest Neighbors achieved recall values of 1.000, 0.982, and 1.000 for the benign, malignant, and normal categories, respectively. The perfect recall obtained for the benign class suggests that the model was able to identify this underrepresented category with high sensitivity in the holdout test set, while still maintaining reliable detection of malignant and normal images.

The visual analysis of the HOG-based representation also contributed to the interpretability of the proposed approach. The generated HOG maps showed that the original CT images were converted into gradient-oriented structural patterns, including edge directions, local contours, and texture-related information. These visual outputs help clarify the type of image information supplied to the machine learning classifiers. Nevertheless, this interpretation should be

considered as an explanation of feature representation rather than a lesion-level clinical localization procedure.

Several limitations should be acknowledged. The dataset was relatively small, especially for the benign category, and the analysis was performed at the image-slice level rather than at the patient level. Because patient-level partitioning information was not available in the dataset structure used in this study, complete independence between training and testing samples at the patient level could not be verified. In addition, although HOG visualizations improve transparency regarding the extracted image features, they do not indicate the anatomical location of lesions. Therefore, the findings should be interpreted within the scope of computational image classification and not as evidence of a ready-to-use clinical decision-support system.

Future research should validate this framework using larger, more balanced, and multi-center CT datasets. Patient-level splitting strategies would also be necessary to better assess clinical generalizability. In addition, direct comparisons with deep learning and transfer learning architectures may further clarify the relative strengths of handcrafted feature-based models. For deep learning-based extensions, explainable artificial intelligence methods such as Grad-CAM could provide more clinically meaningful localization maps. Overall, the results of this study suggest that HOG-derived structural descriptors, when combined with suitable machine learning algorithms, can provide an effective and interpretable approach for distinguishing benign, malignant, and normal lung CT images.

REFERENCES

- Al-Yasriy, H. F., Al-Husieny, M. S., Mohsen, F. Y., Khalil, E. A., & Hassan, Z. S. (2020). Diagnosis of lung cancer based on CT scans using CNN. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 928(2), Article 022035. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/2/022035>
- Alyasriy, H., & Al-Huseiny, M. (2023). *The IQ-OTH/NCCD lung cancer dataset* (Version 4) [Data set]. Mendeley Data. <https://doi.org/10.17632/bhmdr45bh2.4>
- Ayalew, A. M., Salau, A. O., Tamyalew, Y. E., Abeje, B. T., & Muche, H. T. (2022). Detection and classification of COVID-19 disease from X-ray images using convolutional neural networks and Histogram of Oriented Gradients. *Biomedical Signal Processing and Control*, 74, 103530. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.103530>

Bhattacharai, B., Subedi, R., Gaire, R. R., Vazquez, E., & Stoyanov, D. (2023). Histogram of Oriented Gradients meet deep learning: A novel multi-task deep network for 2D surgical image semantic segmentation. *Medical Image Analysis*, 85, 102747. <https://doi.org/10.1016/j.media.2023.102747>

Bray, F., Laversanne, M., Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Soerjomataram, I., & Jemal, A. (2024). Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 74(3), 229–263. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>

Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics*, 21, Article 6. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7>

Kareem, H. F., Al-Huseiny, M. S., Mohsen, F. Y., Khalil, E. A., & Hassan, Z. S. (2021). Evaluation of SVM performance in the detection of lung cancer in marked CT scan dataset. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 21(3), 1731–1738. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v21.i3.pp1731-1738>

Li, R., Xiao, C., Huang, Y., Hassan, H., & Huang, B. (2022). Deep learning applications in computed tomography images for pulmonary nodule detection and diagnosis: A review. *Diagnostics*, 12(2), 298. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12020298>

Nasrullah, N., Sang, J., Alam, M. S., Mateen, M., Cai, B., & Hu, H. (2019). Automated lung nodule detection and classification using deep learning combined with multiple strategies. *Sensors*, 19(17), 3722. <https://doi.org/10.3390/s19173722>

Saito, T., & Rehmsmeier, M. (2015). The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. *PLOS ONE*, 10(3), e0118432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118432>

Sharma, A. K., Nandal, A., Dhaka, A., Polat, K., Alwadie, R., Alenezi, F., & Alhudhaif, A. (2023). HOG transformation based feature extraction framework in modified Resnet50 model for brain tumor detection. *Biomedical Signal Processing and Control*, 84, 104737. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.104737>

Sokolova, M., & Lapalme, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*, 45(4), 427–437.
<https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>

SIK ÖRÜNTÜ MADENCİLİĞİ ALGORİTMALARININ ÇİFT KÜTÜPHANE İLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: SPMF VE PAMI ÜZERİNDE APRIORI, FP- GROWTH VE ECLAT

Baki KOÇ

Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Akıllı Sistemler Programı
25434998002@ogr.btu.edu.tr – ORCID: 0009-0003-8561-262X

Prof. Dr. Turgay Tugay BİLGİN

Bursa Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
turgay.bilgin@btu.edu.tr – ORCID: 0000-0002-9245-5728

ÖZET

Sık örüntü madenciliği, büyük işlem veri tabanlarındaki anlamlı birliktelik örüntülerini ortaya çıkarmayı amaçlayan bir veri madenciliği dalıdır. Bu çalışmada Apriori, FP-Growth ve ECLAT algoritmaları iki ayrı açık kaynak kütüphane üzerinden karşılaştırılmıştır: Java tabanlı SPMF ve Python tabanlı PAMI. Deneyler için yapısı birbirinden belirgin biçimde ayrılan iki veri seti seçilmiştir. İlki yoğun ve sabit uzunluklu chess (3.196 işlem, 75 öge), ikincisi seyrek ve değişken uzunluklu retail (88.162 işlem, 16.470 öge). Her veri setinde beş ayrı minimum destek eşiği denenmiş, iki kütüphanede toplam altmış deney yürütülmüştür. Bulunan örüntü sayıları otuz deneyin on yedisinde birebir örtüşmüştür. Kalan deneylerde küçük farkların kaynağı, eşiğin iki kütüphanede farklı yuvarlanmasıdır: SPMF yukarı yuvarlar, PAMI aşağı kırpar. Deney sonuçları üç gözlemi ortaya koymaktadır. Algoritma başarımının veri yoğunluğuna bağlı olduğu, her iki kütüphanede de birbirinden bağımsız biçimde doğrulanmıştır. Apriori ile FP-Growth arasındaki mertbe farkının iki dilde de korunması, bu farkın algoritmaların doğasından kaynaklandığını ve uygulama dilinden bağımsız olduğunu göstermektedir. Klasik tidset tabanlı ECLAT'ın yoğun veride dezavantajlı kalması da yine kütüphaneden bağımsız olarak gözlenmiştir. Sonuç olarak algoritmaların başarımlerinin uygulamadan bağımsız olduğu, buna karşılık mutlak çalışma sürelerinin uygulamaya bağlı biçimde değiştiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sık Örüntü Madenciliği, Birliktelik Kuralı Madenciliği, Apriori, FP-Growth, ECLAT.

COMPARATIVE ANALYSIS OF FREQUENT PATTERN MINING ALGORITHMS ACROSS TWO LIBRARIES: APRIORI, FP-GROWTH AND ECLAT ON SPMF AND PAMI

ABSTRACT

Frequent pattern mining is a subfield of data mining that aims to extract meaningful association patterns from large transactional databases. This study compares three algorithms, Apriori, FP-Growth and ECLAT, across two independent open-source libraries: the Java-based SPMF and the Python-based PAMI. Two benchmark datasets with markedly different structure were selected. The first is the dense, fixed-length chess (3,196 transactions, 75 items); the second is the sparse, variable-length retail (88,162 transactions, 16,470 items). Five minimum support

thresholds were applied to each dataset, yielding sixty runs in total. The pattern counts matched exactly in seventeen of thirty runs. The remaining differences stem from how each library rounds the threshold: SPMF rounds up, while PAMI truncates down. Three findings stand out. First, the assumption that performance depends on data density held in both libraries. Second, the order-of-magnitude gap between Apriori and FP-Growth was preserved in both languages. Third, the classical tidset-based ECLAT remained disadvantaged on dense data regardless of the library. In short, the algorithmic trends are implementation-independent, whereas the absolute runtimes are not.

Keywords: Frequent Pattern Mining, Association Rule Mining, Apriori, FP-Growth, ECLAT.

1. GİRİŞ

Büyük veri tabanlarından anlamlı örüntüler çıkarmak, veri madenciliğinin temel amaçlarından biridir. Bu amaca yönelik tekniklerin başında birliktelik kuralı madenciliği gelir; alanın temel çerçevesi Agrawal ve arkadaşlarının 1993 tarihli çalışmasıyla ortaya konmuştur [1]. Yöntemin uygulama alanı perakende satış analizinden biyoinformatiğe ve web kullanım analizine kadar uzanır; ancak hepsinin temelinde aynı kavram yatar: sık geçen öge kümesi. Amaç, bir veri tabanında belirli bir eşiğin üzerinde birlikte görülen öge kombinasyonlarını bulmak ve bunlardan koşullu çıkarım kuralları türetmektir.

Alanın temel taşı üç algoritmadır. İlki Apriori; aday üretip test eden paradigmaya dayanan ilk sistematik algoritmadır [2]. Han ve arkadaşları daha sonra FP-Growth'u geliştirmiştir. Bu algoritma, veri tabanını tekrar tekrar taramak yerine sıkıştırılmış bir ağaca dönüştürür ve aday üretmeden sık örüntüleri çıkarır [3]. Aynı dönemde Zaki, dikey veri biçimine dayanan ECLAT'ı önermiştir. Bu yöntemde destek, küme kesişimiyle hesaplandığından tarama ihtiyacı en aza iner [4].

Bu üç algoritmanın karşılaştırılması literatürde köklü bir konudur [5]. Ne var ki bu çalışmaların çoğu tek bir kütüphane üzerinden yürütülür. Dolayısıyla raporlanan sayılar, o kütüphanenin kendine özgü niteliklerini de taşır. Burada önemli bir soru cevapsız kalır: aynı algoritmanın iki ayrı uygulaması, aynı koşullarda aynı davranışı sergiler mi? Bir merteye farkının bir uygulamada görülüp diğerinde görülmediğini varsayalım. Bu durum algoritmanın doğasından mı, yoksa uygulama kararlarından mı kaynaklanır?

Bu soruyu yanıtlamak için çalışma bilinçli olarak iki ayrı kütüphane üzerine kurulmuştur. Birincisi SPMF: Java tabanlı, alanda referans kabul edilen açık kaynak kütüphanesi [6]. İkincisi PAMI: Aizu Üniversitesi'nde geliştirilen ve SPMF'in Python'daki karşılığı sayılan kütüphane [7]. Yazının kalanı şöyle düzenlenmiştir: ikinci bölümde algoritmaların kuramsal temeli ile deney düzeneği sunulur, üçüncü bölümde sonuçlar paylaşılır, dördüncü bölümde ise genel değerlendirme yer alır.

2. KURAMSAL TEMEL VE DENEYSEL DÜZENEK

2.1. Temel Tanımlar

$I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$ bir ögeler kümesi olsun. Bir işlem (transaction) T , I 'nin alt kümesidir ($T \subseteq I$). İşlem veri tabanı $D = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ ise n adet işlemten oluşur. Bir X öge kümesinin desteği (support), D içinde X 'i içeren işlemlerin oranıdır: $\text{support}(X) = |\{T \in D : X \subseteq T\}| / |D|$.

$\text{support}(X) \geq \text{min\_sup}$ koşulu sağlanıyorsa X sık bir öge kümesidir. Bütün yaklaşımın temelinde anti-monotonluk ilkesi bulunur: sık bir kümenin tüm alt kümeleri de sıktır. Bu ilke, arama uzayının budanmasını sağlar ve üç algoritmanın da verimliliğinin dayanağıdır.

2.2. Algoritmaların Kuramsal Karşılaştırması

Apriori, aday üretip test etmeye dayanır. Veri tabanını yinelemeli olarak tarar; her adımda bir önceki adımın sık kümelerinden yeni adaylar üretir, ardından anti-monotonluk ilkesiyle arama uzayını budar. Temel sorun şudur: düşük eşiklerde aday sayısı kombinatorik olarak patlar. Bu nedenle Apriori yoğun veride ciddi başarım sorunları yaşar. FP-Growth aynı sorunu farklı çözer. Veri tabanını yalnızca iki kez tarar, onu sıkıştırılmış bir önek ağacına (FP-tree) dönüştürür ve aday üretmeden örüntü büyütür. ECLAT ise veriyi dikey biçime alır; her öge için işlem listesini (tidset) tutar ve desteği küme kesişimiyle hesaplar. Ancak klasik tidset tabanlı sürümde başlangıç tidset'leri büyük olduğundan yoğun veride yüksek bellek tüketir.

Üç algoritmanın işleyişi, yalın sözde-kod (pseudocode) biçiminde Çizelge 1, 2 ve 3'te sunulmuştur. Bu özetler, sonraki bölümde görülecek başarım farklarının kuramsal kaynağını anlamayı kolaylaştırır.

Çizelge 1. Apriori Algoritmasının Sözde-Kodu

Girdi: D işlem veri tabanı, min_sup eşiği
 Çıktı: F tüm sık öge kümeleri
 1. $C_1 \leftarrow D$ 'deki tüm tekil ögeler
 2. $F_1 \leftarrow \{c \in C_1 : \text{support}(c) \geq \text{min\_sup}\}$
 3. $k \leftarrow 2$
 4. F_{k-1} boş olmadığı sürece tekrarla:
 5. $C_k \leftarrow \text{APRIORI-GEN}(F_{k-1})$ (aday üretimi + budama)
 6. Her $t \in D$ işlemi için adayların sayacını güncelle
 7. $F_k \leftarrow \{c \in C_k : \text{support}(c) \geq \text{min\_sup}\}$
 8. $k \leftarrow k + 1$
 9. $F = \bigcup_k F_k$ değerini döndür

Apriori'nin dış döngüsü (4–8. satırlar) her seviyede veri tabanını yeniden tarar; bu maliyet yoğun veride hızla artar. FP-Growth bu maliyetten farklı bir yolla kurtulur.

Çizelge 2. FP-Growth Algoritmasının Sözde-Kodu

Girdi: D işlem veri tabanı, min_sup eşiği
 Çıktı: F tüm sık öge kümeleri
 1. D taranarak ögelerin destek değerleri hesaplanır
 2. $L \leftarrow$ sık ögeler (desteğe göre azalan sırada)
 3. Kök düğüm ile boş bir FP-tree oluşturulur
 4. Her $t \in D$ işlemi L sırasına göre sıralanıp ağaca eklenir
 5. FP-tree üzerinde örüntü büyütme ile F çıkarılır (aday üretimi YOK)
 6. F değerini döndür

FP-Growth yalnızca iki tarama yapar ve aday üretmeden örüntü büyütür (5. satır). ECLAT ise veriyi dikey biçime alıp desteği tidset kesişimiyle hesaplar.

Çizelge 3. ECLAT Algoritmasının Sözde-Kodu

Girdi: D (dikey biçimde), min_sup eşiği
 Çıktı: F tüm sık öge kümeleri
 1. $F_1 \leftarrow \{i : |\text{tidset}(i)|/|D| \geq \text{min\_sup}\}$
 2. Eclat-Mine(P, α) yordamı için: her $X \in P$ için
 3. $\text{pattern} \leftarrow X \cup \alpha$ ve $F \leftarrow F \cup \{\text{pattern}\}$
 4. $Y > X$ olan her Y için $\text{tidset}(X \cup Y) \leftarrow \text{tidset}(X) \cap \text{tidset}(Y)$
 5. $|\text{tidset}(X \cup Y)|/|D| \geq \text{min\_sup}$ ise adayı genişlet
 6. Genişletilebilir aday varsa yordam özyinelemeli çağrılır
 7. F değerini döndür

Bu üç sözde-kod karşılaştırıldığında, başarımların kuramsal kaynağı belirginleşir. Apriori'nin dış döngüsü, en uzun sık örüntünün uzunluğu kadar veri tabanı taraması gerektirir; bu da yoğun ve uzun işlemli veride maliyeti hızla artırır. FP-Growth yalnızca iki tarama yaptığından ve aday kümesi üretmediğinden, aynı veride çok daha az iş yapar. ECLAT'ın tarama sayısı en düşük olsa da, dikey tidset'lerin kesişimi yoğun veride büyük ara sonuçlar doğurduğundan bellek ve süre açısından beklenenden pahalıya gelebilir. Bu üç davranışın özet bir karşılaştırması Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. Üç Algoritmanın Kuramsal Özelliklerinin Karşılaştırılması

Ölçüt	Apriori	FP-Growth	ECLAT
Paradigma	Aday üretim-test	Örüntü büyütme	Tidset kesişim
Veri biçimi	Yatay	Yatay + FP-tree	Dikey
Tarama sayısı	k kez	2 kez	1 kez
Aday üretimi	Var	Yok	Yok
Arama stratejisi	BFS	DFS	DFS
Yoğun veri başarımı	Çok kötü	İyi	Orta (klasik)
Seyrek veri başarımı	Makul	Çok iyi	İyi

2.3. DeneySEL Düzenek

Bütün deneyler Google Colab'ın ücretsiz katmanında, 12,7 GB bellek ve iki sanal çekirdeğe sahip bir makinede çalıştırılmıştır. PAMI için Python 3.10, SPMF için OpenJDK 21 çalışma zamanı kullanılmıştır. SPMF'in 2.65 sürümü tercih edilmiştir. İki kütüphane arasında dikkat çeken bir arayüz farkı vardır: minimum destek parametresini farklı yorumlarlar. PAMI bu değeri tam sayı sayaç olarak alır ve aşağı kırpar; SPMF ise doğrudan oran kabul edip sayacı yukarı yuvarlar. Bu farkın sonuçlara etkisi üçüncü bölümde ele alınır.

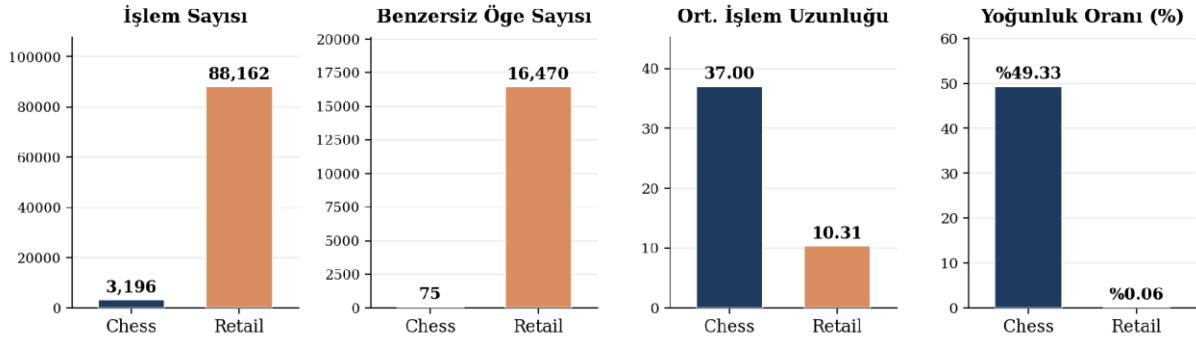
Deneyler için iki veri seti seçilmiştir. İlki yoğun chess (3.196 işlem, 75 öge, ~%49 yoğunluk), ikincisi seyrek retail (88.162 işlem, 16.470 öge, ~%0,06 yoğunluk). Destek eşikleri

chess için {0,70; 0,75; 0,80; 0,85; 0,90}, retail için {0,01; 0,02; 0,03; 0,05; 0,10} olarak belirlenmiştir. İki kütüphanede toplam altmış koşu yürütülmüştür. Her koşuda üç ölçüt kaydedilmiştir: çalışma süresi, bellek kullanımı ve bulunan örüntü sayısı. Süre olarak kütüphane-içi algoritma süresi esas alınmıştır; böylece süreç başlatma ve çalışma zamanı yükleme gürültüsü ölçümün dışında bırakılmıştır. Çizelge 5 iki veri setinin yapısını özetler, Görsel 1 ise aynı karşılaştırmayı görsel olarak sunar.

Çizelge 5. Veri Setlerinin Yapısal Profili

Özellik	Chess	Retail
İşlem sayısı	3.196	88.162
Benzersiz öge sayısı	75	16.470
Ortalama işlem uzunluğu	37,00	10,31
En kısa / en uzun işlem	37 / 37	1 / 76
Yoğunluk oranı	%49,33	%0,06

Veri Setlerinin Yapısal Profili: Yoğun (Chess) vs. Seyrek (Retail)



Görsel 1. İki veri setinin yapısal profillerinin karşılaştırması

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. PAMI (Python) Sonuçları

Çizelge 6 ve 7, PAMI'nin chess ve retail veri setlerindeki çalışma sürelerini gösterir. En büyük fark chess 0,70 eşliğinde çıkar. Apriori burada 109,10 saniye sürerken FP-Growth aynı örüntü kümesini 0,667 saniyede bulur, yaklaşık 164 kat hızlı. Yoğun veride Apriori çok sayıda aday üretip her turda veriyi yeniden taradığı için bu uçurum şaşırtıcı değildir. ECLAT ise aynı eşikte 19,39 saniyede biter, FP-Growth'un otuz katına yakın bir süre. Klasik tidset tabanlı sürüm yoğun veride yalnızca Apriori'nin değil, FP-Growth'un da gerisine düşer. Retail tarafında tablo başkadır ve üç algoritma birbirine yaklaşır; en yavaş koşu olan Apriori 0,01 eşliğinde yalnızca 2,49 saniyede biter. Bu süre chess'teki 109,10 saniyenin yanında neredeyse önemsiz kalır. Görsel 2, chess'teki süreleri logaritmik eksenle sunar.

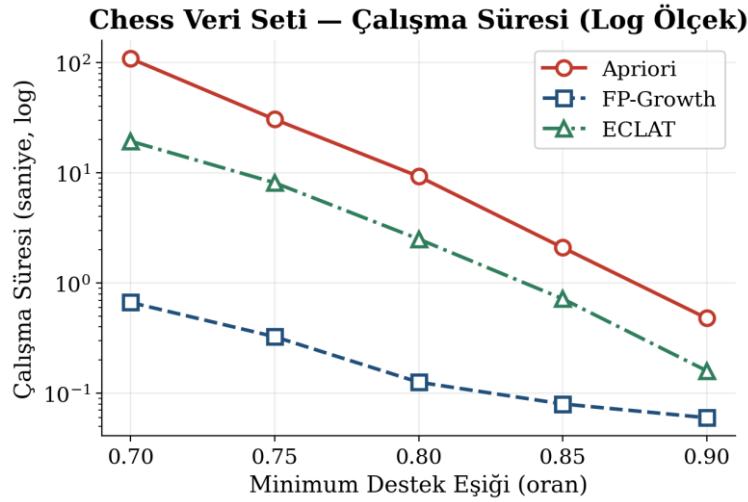
Çizelge 6. PAMI – Chess Veri Seti Sonuçları (süreler saniye cinsinden; Örüntü sütunu Apriori ve FP-Growth için geçerlidir, ECLAT'ın örüntü sayısı 3.3'te ayrıca ele alınmıştır)

minSup	Örüntü (A/FP)	Apriori	FP-Growth	ECLAT
0,70	48.969	109,10	0,667	19,39
0,75	20.993	30,61	0,326	8,14
0,80	8.282	9,29	0,126	2,51
0,85	2.690	2,10	0,080	0,72
0,90	628	0,48	0,060	0,16

Çizelge 7. PAMI – Retail Veri Seti Sonuçları (süreler saniye cinsinden)

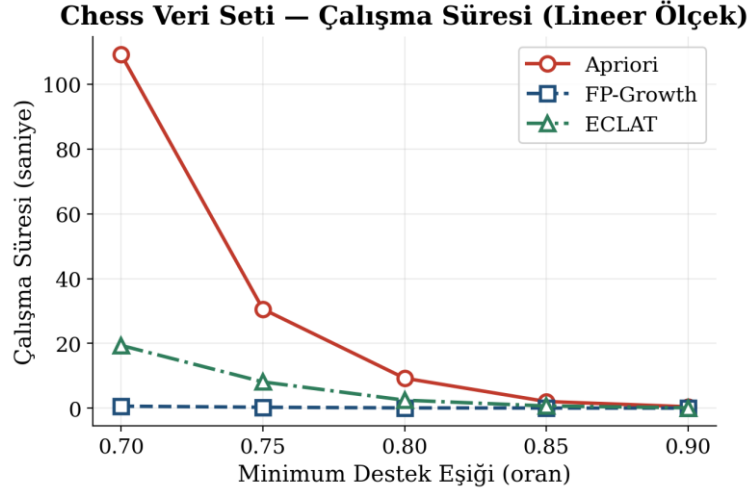
minSup	Örüntü	Apriori	FP-Growth	ECLAT
0,01	159	2,49	0,885	0,67
0,02	55	1,15	0,655	0,55
0,03	32	1,77	0,893	0,63
0,05	16	1,05	0,598	0,51
0,10	9	1,00	0,611	0,48

Aynı veriler, eğilimi görselleştirmek için aşağıdaki grafiklere de aktarılmıştır.

**Görsel 2. PAMI – Chess veri seti çalışma süresinin destek eşiğine göre değişimi (logaritmik eksen)**

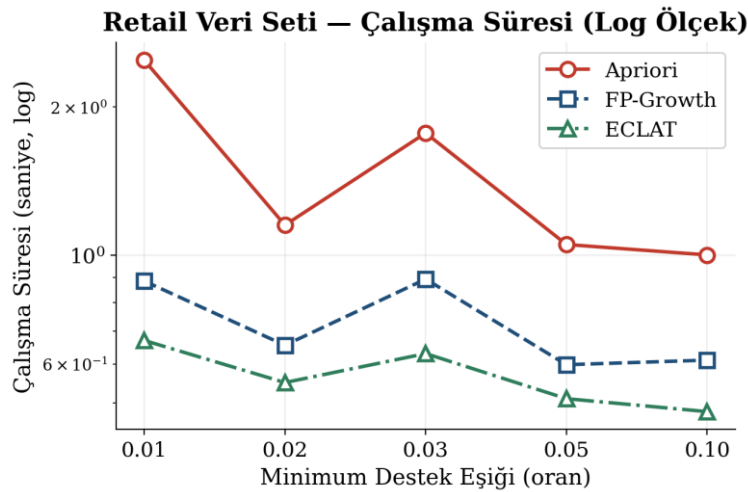
Çalışma süresinin logaritmik ekseninde sunulması, üç algoritma arasındaki büyüklük farkının tek bakışta görülmesini sağlar. Apriori'nin chess 0,70 eşliğindeki 109,10 saniyelik süresi ile FP-Growth'un 0,667 saniyesi, yalnızca logaritmik ölçekte aynı panelde anlamlı biçimde karşılaştırılabilir. Üç eğrinin de eşik yükseldikçe aşağı inmesi beklenen bir davranıştır; çünkü yüksek destek eşiği daha az sık örüntü anlamına gelir ve bu da hesaplama yükünü azaltır.

Ancak eğrilerin eğimleri belirgin biçimde farklıdır: Apriori en dik düşüşü gösterirken, FP-Growth neredeyse yatay bir seyir izler. Bu durum, FP-Growth'un eşik değişiminden çok daha az etkilendiğini ortaya koyar. ECLAT ise ikisinin arasında bir konumda yer alır; yoğun chess verisinde Apriori'ye yakın seyretmesi, klasik tidset tabanlı sürümünün bu tür verideki dezavantajını yansıtır. Bu üç farklı eğim, algoritmaların kuramsal karmaşıklık sınıflarının deneysel bir izdüşümü olarak okunabilir.



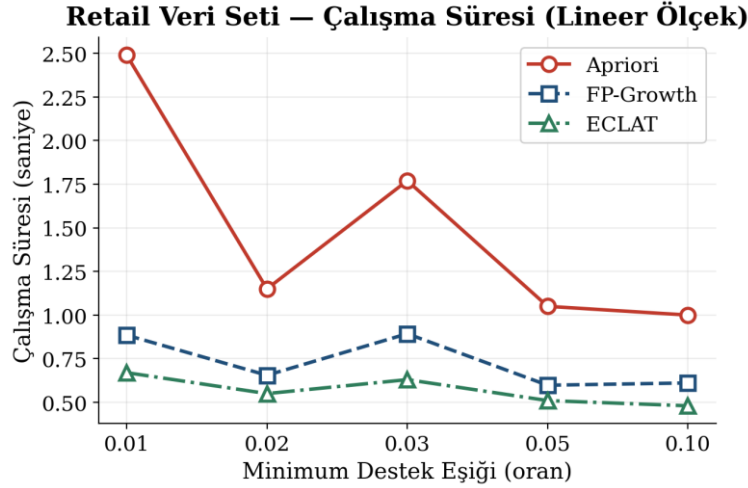
Görsel 3. PAMI – Chess veri seti çalışma süresi (lineer eksen): Apriori'nin üstel büyümesi

Lineer eksenle bakıldığında ise Apriori'nin eğrisi 0,75 eşiğinin altında neredeyse dikey biçimde yükselir; bu görünüm, aday üretim maliyetinin yoğun veride katlanarak arttığını çıplak gözle ortaya koyar. Logaritmik eksenle görece evcil görünen fark, lineer eksenle çarpıcı bir uçuruma dönüşür: 0,70 eşiğinde Apriori'nin sütunu diğer iki algoritmanınkini tamamen gölgede bırakır. Bu iki sunumun birlikte verilmesinin nedeni de budur; logaritmik eksen oransal farkı, lineer eksen ise mutlak farkı vurgular. Aynı çözümleme bundan sonra seyrek retail veri seti için yinelenmiştir.



Görsel 4. PAMI – Retail veri seti çalışma süresinin destek eşiğine göre değişimi (logaritmik eksen)

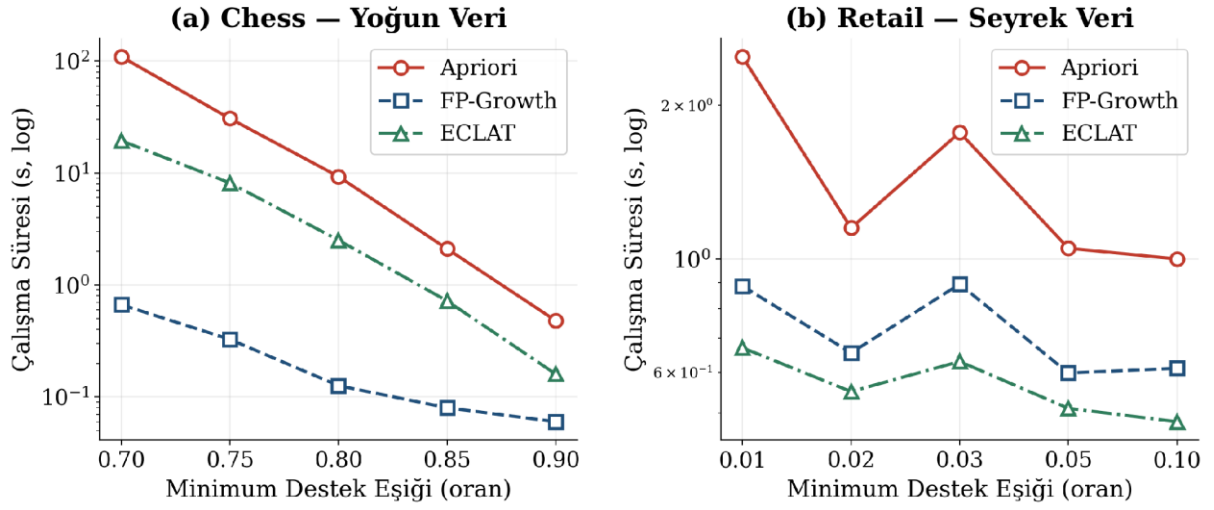
Retail veri setinde tablo belirgin biçimde değişir. Logaritmik eksen de dahi üç eğri birbirine yakın seyreder; çünkü seyrek veride örüntü sayısı düşük kaldığından hiçbir algoritma aşırı maliyete girmez. Retail'de en yüksek süre Apriori'nin 0,01 eşiğindeki 2,49 saniyesidir; bu değer, chess'teki 109,10 saniyenin yanında son derece küçüktür. Üç algoritma arasındaki en büyük fark bile burada birkaç kat ile sınırlı kalır. Bu, veri yoğunluğunun algoritma seçimindeki belirleyici rolünü bir kez daha doğrular. Lineer eksen bu yakınlığı daha da net gösterir.



Görsel 5. PAMI – Retail veri seti çalışma süresi (lineer eksen)

Logaritmik ve lineer eksenin birlikte verilmesi, chess'te Apriori'nin üstel büyümesini ve diğer iki algoritmanın görece düz seyrini aynı anda görünür kılar. Retail'de dikkat çeken bir ayrıntı var: Apriori'nin 0,03 eşiğindeki süresi (1,77 saniye), 0,02 eşiğindeki (1,15 saniye) daha yüksek. Bu monoton olmayan davranış, seyrek veride ölçüm gürültüsünün ve süreç başlatma maliyetinin görece ağırlık kazanmasından kaynaklanır. Retail'de algoritmaların sırası da değişir. Yoğun chess'te en yavaş kalan ECLAT, seyrek retail'de PAMI tarafında beş eşiğin tamamında en hızlı algoritmadır; süreleri 0,48 ile 0,67 saniye arasındadır. FP-Growth eşikten neredeyse etkilenmez ve 0,60 ile 0,89 saniye bandında kalır. Apriori burada da en pahalı algoritmadır, ama farklar küçüktür. En yavaş retail koşusu 0,01 eşiğinde 2,49 saniyedir; aynı algoritmanın chess'teki 109,10 saniyesinin yaklaşık kırk dörtte biri. Seyrek veride mutlak maliyetler bu kadar düşer. İki veri setinin bir arada değerlendirilebilmesi için Görsel 6, chess ve retail sürelerini yan yana logaritmik panelde özetler.

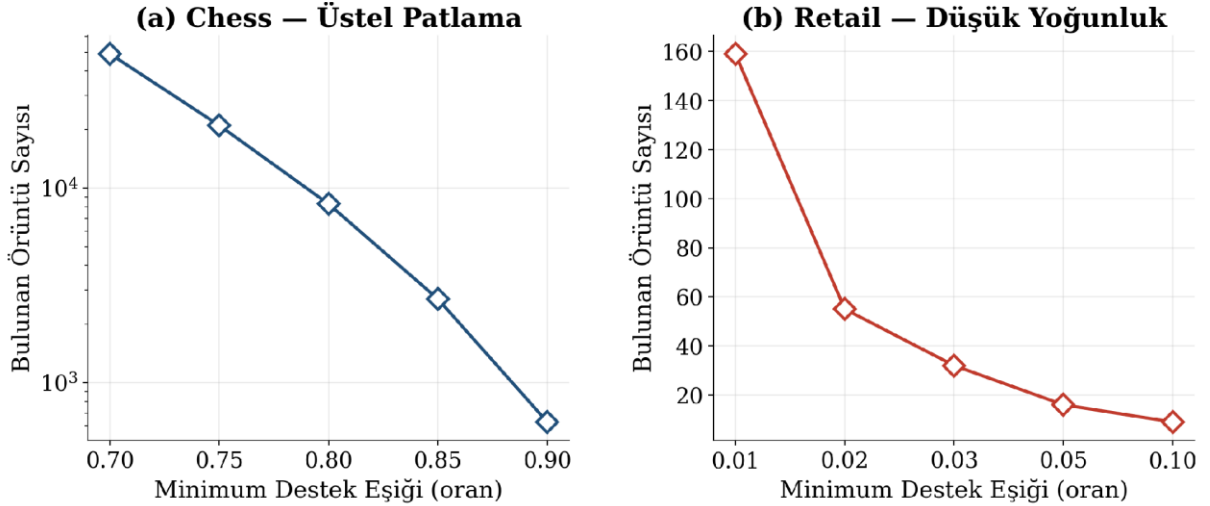
Çalışma Süresi Karşılaştırması: Yoğun vs. Seyrek



Görsel 6. PAMI – Chess ve retail veri setlerinde çalışma sürelerinin yan yana karşılaştırması (logaritmik eksen)

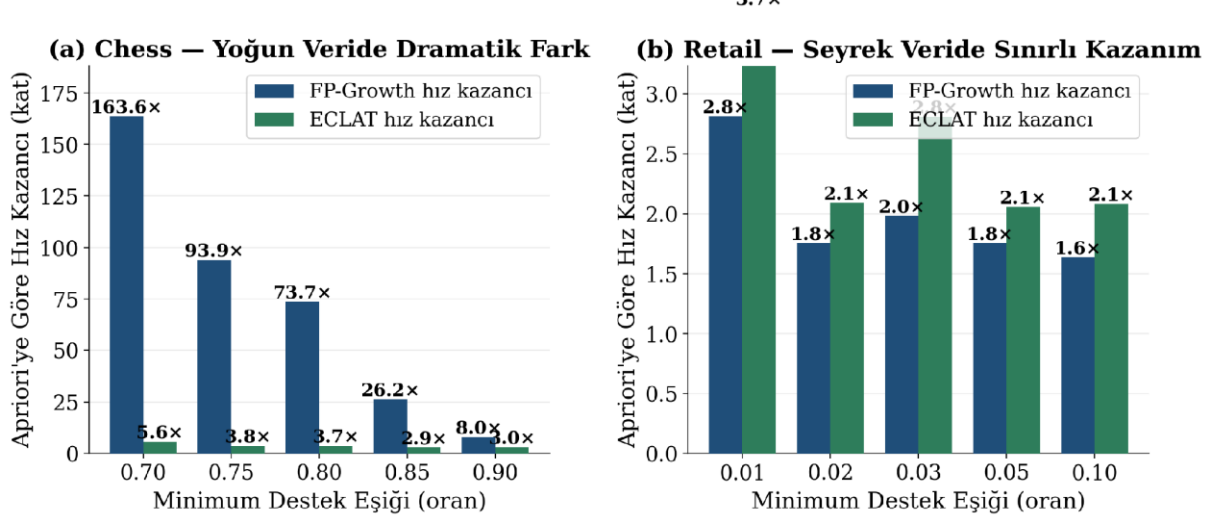
Bulunan örüntü sayısının destek eşiğiyle nasıl değiştiği Görsel 7'de sunulmuştur; düşük eşiklerde örüntü sayısının üstel biçimde arttığı, bunun da Apriori'nin aday üretim maliyetini doğrudan beslediği görülmektedir.

Bulunan Sık Örüntü Sayısı: Veri Karakteristiği Etkisi

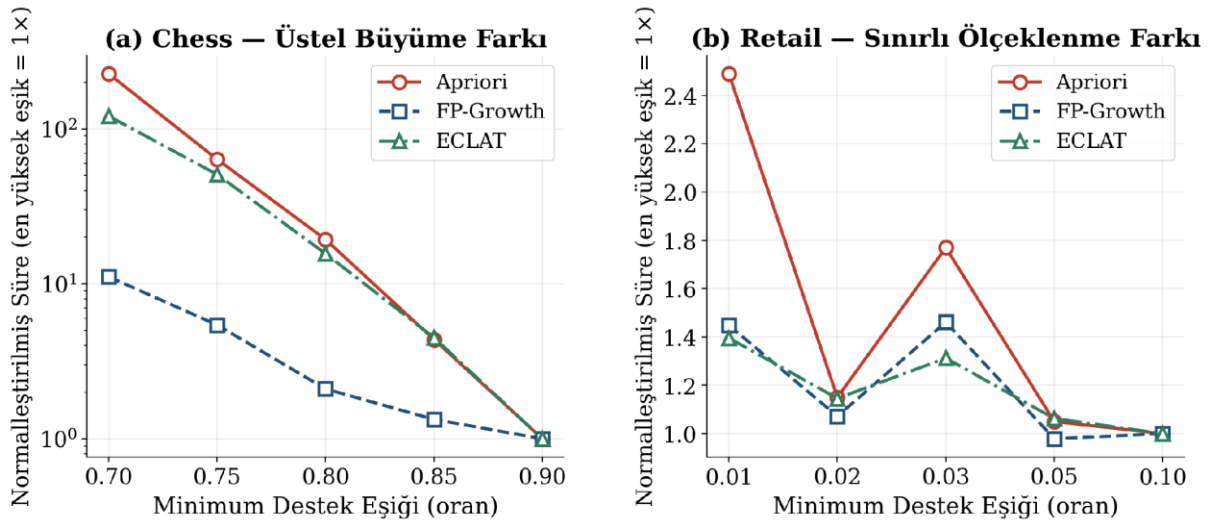


Görsel 7. PAMI – Bulunan örüntü sayısının destek eşiğine göre değişimi

Bu iki panel, veri yoğunluğunun örüntü sayısını nasıl belirlediğini gösterir. Chess'te eşik 0,90'dan 0,70'e indiğinde örüntü sayısı 628'den 48.969'a çıkar. Bu yaklaşık yetmiş sekiz katlık bir artıştır ve logaritmik eksenle bile eğriyi dikleştirir. Retail'de yön aynıdır ama ölçek çok farklıdır: sayı 9'dan 159'a yükselir, yani on sekiz kata yakın. İki uç noktayı karşılaştırınca aradaki açıklık daha da netleşir; chess 0,70 eşliğinde 48.969 örüntü içerirken retail 0,01 eşliğinde yalnızca 159 örüntü içerir. Aradaki üç yüz katı aşan fark, Apriori'nin yoğun veride neden bunca aday üretip yavaşladığını da açıklar.

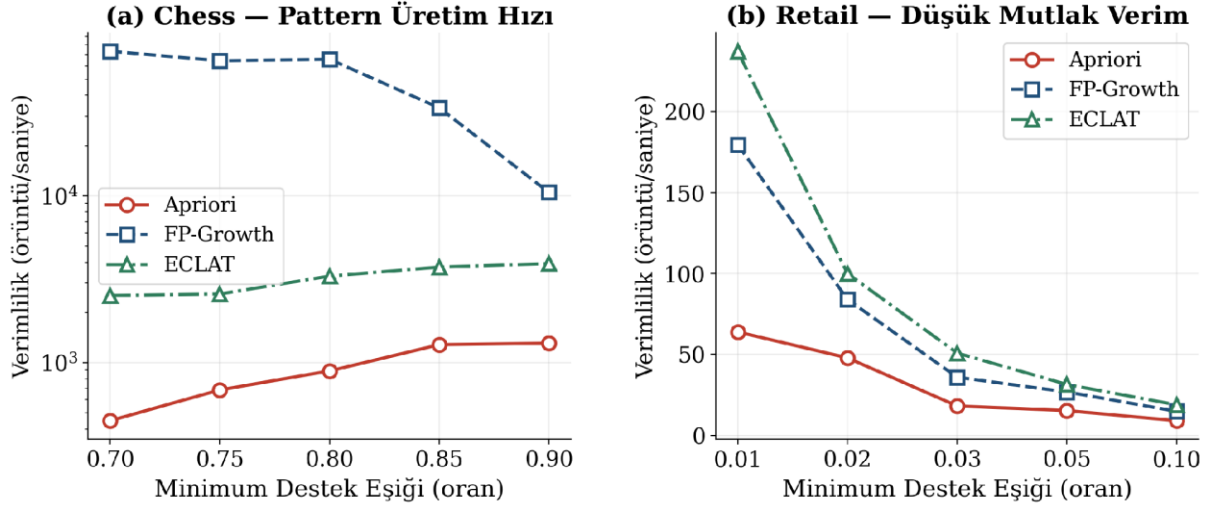
Hız Kazancı Analizi (Apriori referans = 1x)**Görsel 8. PAMI – Apriori referans alındığında (1x) FP-Growth ve ECLAT'ın hız kazancı**

Görsel 8, üç algoritmanın Apriori'ye göre hız kazancını iki veri seti için karşılaştırır. Görsel 9, algoritmaların eşik değıştikçe nasıl ölçeklendiğini normalleştirilmiş biçimde gösterir. Chess panelinde çarpıcı bir kıyas görülür: eşik 0,90'dan 0,70'e indiğinde Apriori'nin süresi yaklaşık 227 kat artarken, FP-Growth'un süresi yalnızca 11 kat artar. Bu, üstel büyüme ile lineer-polinomsal büyüme arasındaki farkın somut bir örneğidir. Görsel 10 ise verimliliği, yani saniyede üretilen örüntü sayısını gösterir. Bu ölçütte FP-Growth açık ara öndedir.

Ölçeklenebilirlik Analizi: Destek Düşerken Süre Katlanması**Görsel 9. PAMI – Normalleştirilmiş ölçeklenebilirlik analizi (en yüksek eşik = 1x)**

Bu normalleştirilmiş görünümün ardından, algoritmaların yalnızca ne kadar sürdüğü değil, birim zamanda ne kadar iş çıkardığı da incelenmiştir.

Örüntü Üretim Verimliliği (Birim Zamanda Bulunan Örüntü)



Görsel 10. PAMI – Örüntü üretim verimliliği (saniyede üretilen örüntü sayısı)

3.2. SPMF (Java) Sonuçları

Çizelge 8 ve 9 aynı koşulların SPMF sonuçlarını verir. Burada üç gözlem dikkat çeker. Birincisi Apriori'dir: chess 0,70'te yalnızca 1,473 saniye sürmüştür. Bu değer, PAMI'deki 109,10 saniyenin yaklaşık yetmiş dörtte biridir. Sonuç, derlenmiş Java bytecode'unun yorumlanan Python karşısında yoğun veride ne denli baskın olduğunu gösterir. İkincisi FP-Growth'tur; chess'teki süresi iki kütüphanede de aynı mertebede çıkmıştır (0,609'a karşı 0,667 saniye), yani Apriori'deki uçurum FP-Growth'ta görülmez. Üçüncü ve en şaşırtıcı gözlem ECLAT'a aittir. SPMF'in ECLAT modülü chess 0,70'te 7,519 saniye sürmüştür; bu, aynı koşuldaki FP-Growth süresinin yaklaşık on iki katıdır. Buradan, klasik tidset tabanlı ECLAT'ın Java'da bile yoğun veride dezavantajlı olduğu anlaşılır.

Çizelge 8. SPMF – Chess Veri Seti Sonuçları (süreler saniye cinsinden; Örüntü sütunu Apriori ve FP-Growth için geçerlidir; SPMF'in ECLAT modülü 0,70 ve 0,75 eşiklerinde sırasıyla 48.985 ve 21.011 örüntü bulmuştur (bkz. 3.3))

minSup	Örüntü (A/FP)	Apriori	FP-Growth	ECLAT
0,70	48.731	1,473	0,609	7,519
0,75	20.993	0,633	0,487	2,785
0,80	8.227	0,540	0,372	1,677
0,85	2.669	0,287	0,281	0,834
0,90	622	0,184	0,257	0,577

Çizelge 9. SPMF – Retail Veri Seti Sonuçları (süreler saniye cinsinden)

minSup	Örüntü	Apriori	FP-Growth	ECLAT
0,01	159	0,894	1,214	4,601
0,02	55	0,860	1,618	2,892
0,03	32	0,651	1,042	4,842
0,05	16	0,576	1,104	2,095
0,10	9	0,510	1,131	1,563

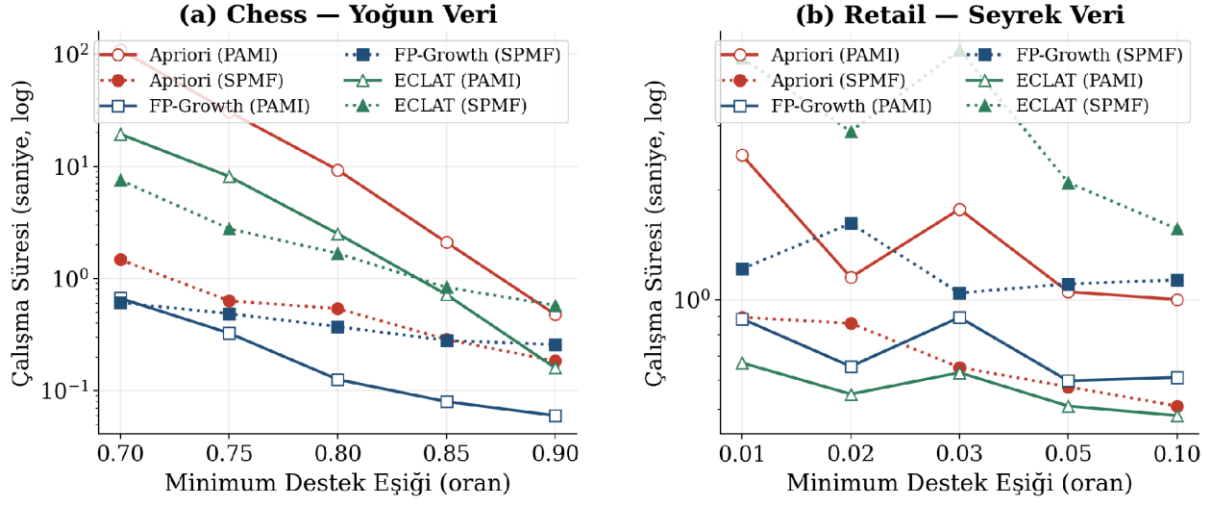
Retail'de ilginç bir durum gözlenir: SPMF'te FP-Growth, tüm eşiklerde Apriori'den daha yavaş çalışmıştır. Bunun nedeni şudur: çok seyrek veride örüntü sayısı azdır ve FP-tree kurmanın maliyeti, Apriori'nin basit taramasından pahalı kalabilir. Bellek tarafında ise SPMF'in ECLAT modülü retail'de 624–631 MB gibi ağır bir ayak izi bırakmıştır.

3.3. PAMI ve SPMF Karşılaştırması

İki kütüphanenin bulduğu örüntü sayıları karşılaştırılmıştır. Apriori ve FP-Growth, her iki kütüphanede de aynı sık öge kümelerini ürettiğinden, Çizelge 6 ve 8'deki tek “Örüntü” sütunu bu iki algoritma için geçerlidir. Bu temelde otuz koşunun on yedisinde sayılar birebir örtüşmüştür. Uyuşmayan on üç koşunun tamamı yoğun chess veri setindedir; retail'in on beş koşusu ise tümüyle tutarlıdır. Farkların iki ayrı kaynağı vardır. Birincisi yuvarlamadır: iki kütüphane minimum destek eşiğini farklı yuvarlar. Örneğin chess 0,90 eşiğinde $0,90 \times 3.196 = 2.876,4$ değeri elde edilir; SPMF bu değeri 2.877'ye yuvarlar, PAMI ise 2.876'ya kırpar. Apriori ve FP-Growth koşullarında genellikle PAMI'nin biraz daha fazla örüntü bulmasının nedeni budur. İkinci kaynak yuvarlamayla açıklanamaz ve yalnızca ECLAT'ta görülür. SPMF'in ECLAT modülü, chess 0,70 ve 0,75 eşiklerinde PAMI'den sırasıyla on altı ve on sekiz örüntü fazla raporlamıştır. Oysa 0,75 eşiğinde $0,75 \times 3.196 = 2.397$ tam sayıdır ve burada yuvarlama farkı yoktur. Dolayısıyla bu fark eşik yuvarlamasından değil, SPMF'in klasik tidset tabanlı ECLAT uygulamasının sınır destekli öge kümelerini ele alış biçiminden kaynaklanır. Bu da örüntü sayısının yalnızca eşiğe değil, kullanılan uygulamaya da bağlı olabileceğini gösterir.

Çizelge 10, iki kütüphanenin süre oranını verir (PAMI süresi / SPMF süresi). Birden büyük değer SPMF'in, birden küçük değer PAMI'nin daha hızlı olduğunu gösterir. Aynı oran Görsel 12 ve 13'te de sunulur. Üç eğilim öne çıkar. Apriori'de SPMF açık ara üstündür (chess 0,70'te yaklaşık 74 kat). FP-Growth'ta PAMI, yer yer SPMF'i geçecek kadar rekabetçidir. ECLAT'ta ise üstünlük veri setine ve eşiğe göre değişir. Görsel 11, iki kütüphanenin sürelerini yoğun ve seyrek veride yan yana koyar.

PAMI vs SPMF: Çift Kütüphane Çalışma Süresi Karşılaştırması



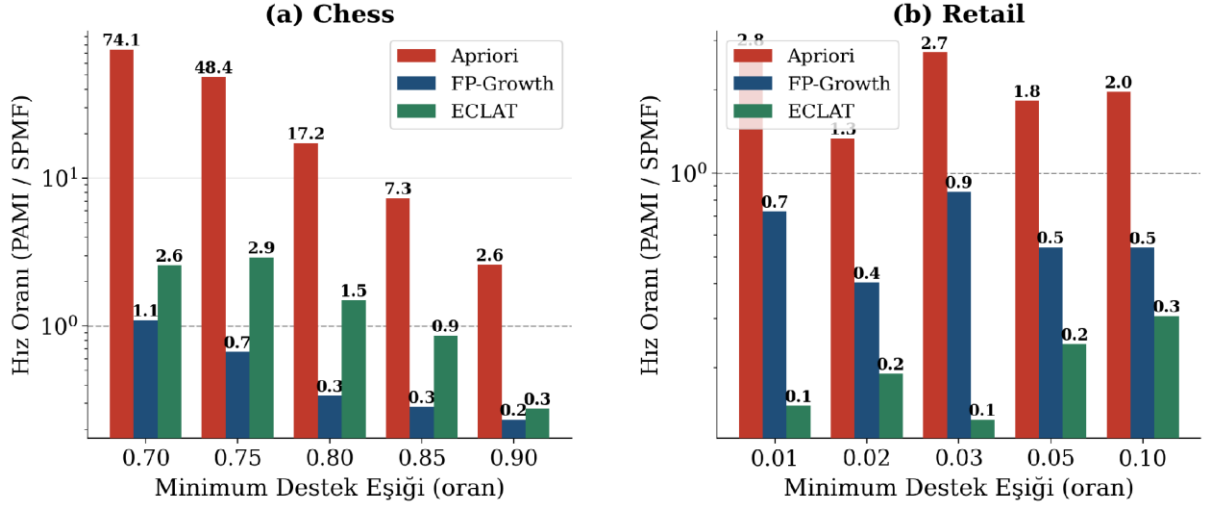
Görsel 11. PAMI ve SPMF çalışma sürelerinin chess (yoğun) ve retail (seyrek) veri setlerinde karşılaştırması

Yan yana yerleştirilen bu iki panel, kütüphane davranışının yoğun ve seyrek veride ne denli farklılaştığını ortaya koyar; bu karşılaştırmanın sayısal karşılığı Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Hız Oranı (PAMI / SPMF): >1 SPMF hızlı, <1 PAMI hızlı

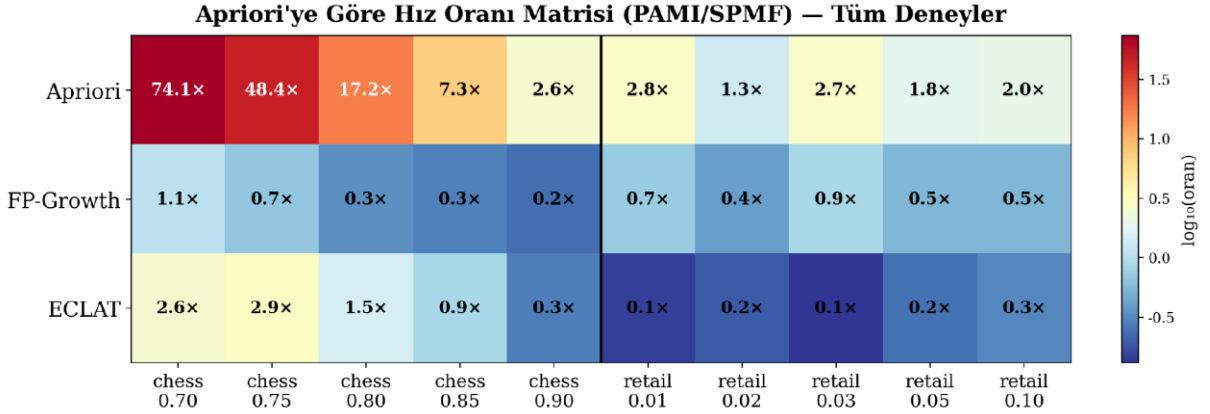
Veri Seti	minSup	Apriori	FP-Growth	ECLAT
chess	0,70	74,07×	1,10×	2,58×
chess	0,75	48,36×	0,67×	2,92×
chess	0,80	17,20×	0,34×	1,50×
chess	0,85	7,32×	0,28×	0,86×
chess	0,90	2,61×	0,23×	0,28×
retail	0,01	2,79×	0,73×	0,15×
retail	0,02	1,34×	0,40×	0,19×
retail	0,03	2,72×	0,86×	0,13×
retail	0,05	1,82×	0,54×	0,24×
retail	0,10	1,96×	0,54×	0,31×

Hız Oranı Karşılaştırması: >1 ise SPMF, <1 ise PAMI daha hızlı



Görsel 12. Hız oranı (PAMI süresi / SPMF süresi): değerin birden büyük olması SPMF'in daha hızlı olduğunu gösterir

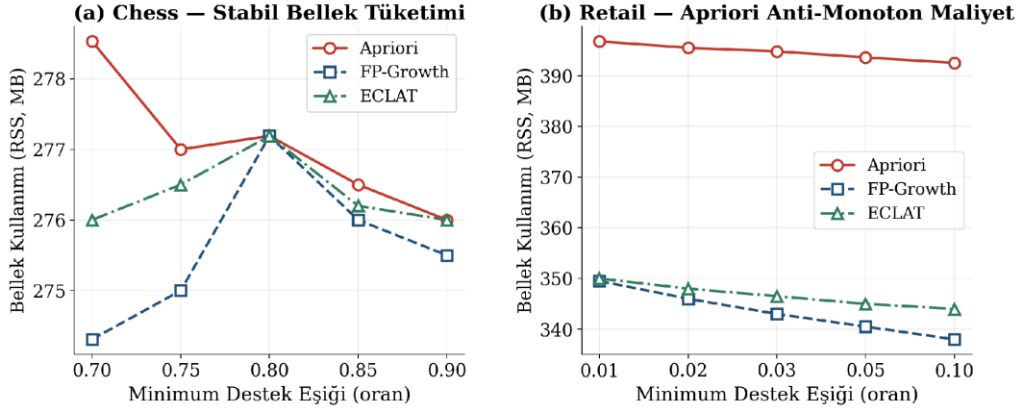
Aynı oranların hücre bazında dağılımı, bir ısı haritasıyla daha okunaklı biçimde özetlenebilir.



Görsel 13. Hız oranının ısı haritası: koyu hücreler SPMF'in belirgin üstünlüğünü (Apriori, yoğun veri) işaret eder

Bellek konusunda önemli bir uyarı gereklidir. SPMF, Java sanal makinesinin yığın (heap) kullanımını raporlar; PAMI ise işletim sistemi düzeyindeki yerleşik küme boyutunu (RSS) raporlar. Bu iki ölçüt farklı şeyleri ifade eder. Bu nedenle bellek değerleri iki kütüphane arasında doğrudan karşılaştırılmamıştır. Bellek bulguları yalnızca her kütüphanenin kendi içinde, algoritmalar arası eğilimi göstermek üzere yorumlanmıştır. Görsel 14, PAMI'nin bellek kullanımını bu çerçevede sunar.

Bellek Kullanım Analizi (Resident Set Size)



Görsel 14. PAMI – Bellek kullanımı (RSS): chess'te stabil, retail'de Apriori'nin anti-monoton maliyeti

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmanın temel kararı olan çift kütüphane karşılaştırması iki açıdan öğretici olmuştur. Bunlardan ilki, çalışmanın başında sorulan sorunun yanıtıdır: algoritmik merteye farkları gerçekten de uygulamadan bağımsız çıkmıştır. Her iki kütüphanede de Apriori yoğun veride en yavaş, FP-Growth ise en hızlı algoritma olmuştur. Klasik ECLAT, diffset hızlandırması bulunmadığından yoğun veride geride kalmıştır [8]. Bu eğilimin Python'un yorumlayıcı maliyetinden kaynaklanmadığı kesindir; çünkü aynı durum Java tarafında da gözlenmiştir.

İkinci çıkarım, mutlak hız değerlerinin uygulamaya bağlı olmasıdır. Apriori'de işlemin büyük kısmı aday üretimi olduğundan, Java Python'a göre belirgin bir avantaj sağlamıştır (chess 0,70'te yaklaşık 74 kat). Buna karşılık FP-Growth'ta işlemin çoğu veri yapısı üzerinde gerçekleştiğinden bu fark erimiş, hatta PAMI yer yer SPMF'in önüne geçmiştir.

Üçüncü bulgu daha incedir: sınır eşiği etkisi. İki kütüphane eşiği farklı yuvarladığından, sınır durumlarda örüntü sayısı gözle görülür biçimde değişmiştir. Bu durum, literatürdeki birçok karşılaştırmanın örtük olarak varsaydığı 'tek doğru örüntü sayısı' fikrinin her zaman geçerli olmadığını gösterir. Dolayısıyla akademik raporlamada minimum destek yorumlama kuralının açıkça belirtilmesi gerekir.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları vardır. ECLAT için yalnızca klasik sürüm kullanılmıştır; diffset tabanlı dECLAT eklenirse karşılaştırma genişler. Veri yoğunluğu açısından yalnızca iki uç profil seçilmiştir. Ölçümler tek bir donanımda ve tek koşu olarak yürütülmüştür; ileride tekrarlı ölçüm ve istatistiksel anlamlılık testleri eklenebilir. Ayrıca bellek ölçüm yöntemleri iki kütüphanede farklıdır. Yine de elde edilen bulgu açıktır: sık örüntü madenciliği gibi olgun bir alanda bile çift kütüphane karşılaştırması raporlanmaya değer sonuçlar üretir. Bu yaklaşım, sonraki çalışmalar için iyi bir başlangıç noktası olabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Agrawal, R., Imielinski, T. ve Swami, A., Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases, Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. Management of Data, 207–216, 1993.

- [2] Agrawal, R. ve Srikant, R., Fast Algorithms for Mining Association Rules in Large Databases, Proc. 20th Int. Conf. Very Large Data Bases (VLDB), 487–499, 1994.
- [3] Han, J., Pei, J. ve Yin, Y., Mining Frequent Patterns without Candidate Generation, Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. Management of Data, 1–12, 2000.
- [4] Zaki, M. J., Scalable Algorithms for Association Mining, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 12, 3, 372–390, 2000.
- [5] Heaton, J., Comparing Dataset Characteristics that Favor the Apriori, Eclat or FP-Growth Frequent Itemset Mining Algorithms, SoutheastCon 2016, IEEE, 1–7, 2016.
- [6] Fournier-Viger, P., Lin, J. C.-W., Gomariz, A., Gueniche, T., Soltani, A., Deng, Z. ve Lam, H. T., The SPMF Open-Source Data Mining Library Version 2, Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases (ECML PKDD 2016), LNCS 9853, 36–40, 2016.
- [7] Rage, U. K., Pamalla, V., Toyoda, M. ve Kitsuregawa, M., PAMI: An Open-Source Python Library for Pattern Mining, Journal of Machine Learning Research, 25, 209, 1–6, 2024.
- [8] Zaki, M. J. ve Gouda, K., Fast Vertical Mining Using Diffsets, Proc. 9th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowledge Discovery and Data Mining, 326–335, 2003.

HİPERTANSİYON HASTALARINDA VE SAĞLIKLI BİREYLERDE TOTAL KAN ANALİZ VERİLERİ KULLANILARAK YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİ İLE HİPERTANSİYON TAHMİNİ

Hakan Burak Ahmetoğlu

Biyomühendislik Bölümü,

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kafkas Üniversitesi,

hburakahmetoglu@gmail.com - 0009-0003-9882-0532

Prof. Dr. İlhami GÖK

Biyomühendislik Bölümü,

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Kafkas Üniversitesi,

dnzgoki@gmail.com - 0000-0003-1074-9325

Öğr. Gör. Mahmut AYDIN

Bilgisayar Mühendisliği

Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kafkas Üniversitesi,

mahmut.aydin@kafkas.edu.tr - 0000-0002-2043-774X

ÖZET

Hipertansiyon, kardiyovasküler hastalıkların gelişiminde önemli bir risk faktörü olup erken tanı ve etkin risk değerlendirmesi hastalığa bağlı morbidite ve mortalitenin azaltılmasında kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, rutin laboratuvar testlerinden elde edilen total kan analiz verileri kullanılarak hipertansiyonun yapay zekâ tabanlı yöntemlerle tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Araştırmada, 102 hipertansiyon hastası ve 65 sağlıklı bireye ait olmak üzere toplam 167 bireyin laboratuvar verileri kullanılmıştır. Veri setinde hemogram ve biyokimyasal analiz parametreleri kapsamında kreatinin, üre, elektrolitler, açlık kan glukozu, lipid profili bileşenleri ve inflamasyon belirteçleri yer almıştır. Veri ön işleme aşamasında eksik veri analizi, aykırı değer tespiti, normalizasyon ve özellik seçimi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hipertansiyon tahmini için Lojistik Regresyon, Random Forest, Destek Vektör Makineleri (SVM), Yapay Sinir Ağları (ANN), XGBoost, LightGBM, K-En Yakın Komşu (KNN) ve Naive Bayes algoritmaları

uygulanmıştır. Model performansları doğruluk, duyarlılık, özgüllük, F1-skoru ve ROC-AUC metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre en başarılı performans Destek Vektör Makineleri algoritması ile elde edilmiştir. SVM modeli %80,24 doğruluk, %84,21 F1-skoru ve %82,85 ROC-AUC değeri göstermiştir. Özellik önem analizi sonuçları, glomerüler filtrasyon hızı (GFR), BUN/Kreatinin oranı, C-reaktif protein (CRP), alanin aminotransferaz (ALT) ve glukoz düzeylerinin hipertansiyon tahmininde en etkili değişkenler olduğunu ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, rutin laboratuvar testlerinden elde edilen verilerin makine öğrenmesi algoritmaları ile analiz edilmesi hipertansiyonun erken dönemde tahmin edilmesinde umut verici sonuçlar sunmaktadır. Geliştirilen modelin klinik karar destek sistemlerine entegre edilerek hekimlere risk değerlendirmesinde yardımcı olabileceği ve önleyici sağlık hizmetlerine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler : hipertansiyon, kan basıncı, kardiyovasküler risk, total kan analizi, hemogram, yapay zekâ, makine öğrenmesi.

PREDICTION OF HYPERTENSION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS BASED ON COMPLETE BLOOD ANALYSIS DATA IN HYPERTENSIVE PATIENTS AND HEALTHY INDIVIDUALS

ABSTRACT

Hypertension is one of the leading risk factors for cardiovascular diseases and remains a major public health concern worldwide. Early diagnosis and accurate risk assessment are essential for reducing hypertension-related morbidity and mortality. This study aimed to develop an artificial intelligence-based model for hypertension prediction using routine laboratory blood analysis data.

The dataset consisted of laboratory records from 167 individuals, including 102 patients diagnosed with hypertension and 65 healthy controls. Hemogram and biochemical parameters, including creatinine, urea, electrolytes, fasting blood glucose, lipid profile components, and inflammatory markers, were evaluated as predictive variables. Data preprocessing procedures included missing value analysis, outlier detection, normalization, and feature selection. Several machine learning algorithms were implemented, including Logistic Regression, Random Forest, Support Vector Machines (SVM), Artificial Neural Networks (ANN), XGBoost, LightGBM, K-Nearest Neighbors (KNN), and Naive Bayes. Model performance was assessed using Accuracy, Sensitivity, Specificity, F1-score, and Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (ROC-AUC).

Among the evaluated models, the SVM algorithm achieved the best predictive performance, yielding an accuracy of 80.24%, an F1-score of 84.21%, and an ROC-AUC value of 82.85%.

Feature importance analysis identified Glomerular Filtration Rate (GFR), BUN/Creatinine ratio, C-Reactive Protein (CRP), Alanine Aminotransferase (ALT), and glucose levels as the most influential variables for hypertension prediction.

The findings demonstrate that machine learning approaches applied to routine laboratory data can provide effective support for hypertension risk assessment. The proposed model has the potential to contribute to clinical decision support systems and facilitate early detection strategies, ultimately supporting preventive healthcare practices and improving patient outcomes.

Keywords : Hypertension, blood pressure, cardiovascular risk, complete blood analysis, hemogram, artificial intelligence, machine learning.

SİBER GÜVENLİKTE SOSYAL MÜHENDİSLİK SALDIRILARI ve KORUNMA YÖNTEMLERİ

Dr, CİHAN ÜNAL

Hacettepe Üniversitesi,

cihan.unal@hacettepe.edu.tr : 0000-0002-5255-4078

ÖZET

Günümüzde bilgi ve iletişim teknolojilerinin hızla gelişmesi, bireylerin ve kurumların dijital sistemlere olan bağımlılığını artırmıştır. Bu durum, siber güvenlik tehditlerinin çeşitlenmesine ve daha karmaşık hale gelmesine neden olmuştur. Siber saldırılar genellikle teknik zafiyetleri hedef alsa da, saldırganlar çoğu zaman sistemlerin en zayıf halkası olarak görülen insan faktörünü hedef almaktadır. Sosyal mühendislik, bireyleri psikolojik yöntemlerle manipüle ederek gizli bilgileri elde etmeyi veya belirli eylemleri gerçekleştirmelerini sağlamayı amaçlayan bir saldırı tekniğidir. Bu saldırılar, teknik bilgi gereksiniminin düşük olması ve yüksek başarı oranları nedeniyle siber suçlular tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada sosyal mühendislik kavramı, temel saldırı yöntemleri ve bu saldırıların bireyler ile kurumlar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Oltalama(phishing) ve omuz sörfü (shoulder surfing) gibi yaygın sosyal mühendislik teknikleri ele alınmış, saldırganların güven, otorite, merak ve aciliyet gibi insan davranışlarını nasıl istismar ettikleri açıklanmıştır. Ayrıca sosyal mühendislik saldırılarının veri ihlalleri, finansal kayıplar, itibar zararları ve operasyonel aksaklıklar gibi sonuçları değerlendirilmiştir.

Araştırma sonucunda, sosyal mühendislik saldırılarına karşı en etkili savunmanın yalnızca teknolojik çözümlerle sağlanamayacağı, kullanıcı farkındalığının artırılması ve güvenlik kültürünün geliştirilmesinin kritik öneme sahip olduğu belirlenmiştir. Düzenli siber güvenlik eğitimleri, çok faktörlü kimlik doğrulama sistemleri, güvenlik politikalarının etkin uygulanması ve periyodik farkındalık testleri, sosyal mühendislik kaynaklı risklerin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle kurumların teknik güvenlik önlemlerini insan odaklı güvenlik stratejileriyle desteklemesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler : Siber Güvenlik, Sosyal Mühendislik, Bilgi Güvenliği, Oltalama, İnsan Faktörü.

1. GİRİŞ

Dijital dönüşüm sürecinin hız kazanmasıyla birlikte bilgi ve iletişim teknolojileri bireylerin, kamu kurumlarının ve özel sektör kuruluşlarının günlük faaliyetlerinin ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. İnternet tabanlı uygulamalar, bulut bilişim, mobil teknolojiler, nesnelerin interneti (IoT) ve yapay zekâ destekli sistemlerin yaygınlaşması; verimlilik, erişilebilirlik ve hizmet kalitesini artırırken aynı zamanda yeni siber güvenlik risklerini de beraberinde getirmiştir. Günümüzde kritik altyapılar, finans sistemleri, sağlık kuruluşları, eğitim kurumları ve kamu hizmetleri büyük ölçüde dijital platformlar üzerinden yürütülmektedir. Bu durum, siber saldırganların hedef kitlesini genişletmiş ve saldırı yöntemlerini daha karmaşık hâle getirmiştir.

Siber güvenlik, bilgi sistemlerinin gizlilik (Confidentiality), bütünlük (Integrity) ve erişilebilirlik (Availability) ilkelerini korumayı amaçlayan teknik ve yönetsel süreçlerin tamamını kapsamaktadır. Kurumlar uzun yıllar boyunca güvenlik duvarları, saldırı tespit sistemleri, antivirüs yazılımları ve şifreleme teknolojileri gibi teknik çözümlere yatırım yapmıştır. Ancak son yıllarda gerçekleştirilen veri ihlallerinin önemli bir kısmının teknik zafiyetlerden değil, insan hatalarından kaynaklandığı görülmektedir. Bu nedenle siber güvenlik anlayışı yalnızca teknolojik önlemlerle sınırlı olmaktan çıkmış, insan faktörünü de kapsayan bütüncül bir yaklaşıma dönüşmüştür.

Uluslararası raporlar incelendiğinde sosyal mühendislik saldırılarının günümüzde en yaygın saldırı yöntemlerinden biri olduğu görülmektedir. Özellikle Verizon Data Breach Investigations Report (DBIR) ve IBM Cost of a Data Breach raporları, veri ihlallerinin önemli bir bölümünde kimlik avı (phishing), sosyal mühendislik ve kullanıcı hatalarının etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Saldırganlar gelişmiş zararlı yazılımlar geliştirmek yerine çoğu zaman kullanıcıların güvenini kazanmayı veya onları psikolojik olarak yönlendirmeyi tercih etmektedir. Bunun temel nedeni, insan davranışlarının teknolojik sistemlere göre daha kolay manipüle edilebilmesidir.

Sosyal mühendislik, bireylerin psikolojik eğilimlerini hedef alan ve teknik bilgi gereksinimi oldukça düşük olan bir saldırı yöntemidir. Bu saldırılar sırasında saldırganlar güven oluşturma, otorite algısı yaratma, korku, merak, yardımseverlik, aciliyet hissi veya ödül beklentisi gibi psikolojik unsurlardan yararlanarak mağdurları belirli davranışlara yönlendirmektedir. Amaç; kullanıcı adı ve parola gibi kimlik bilgilerinin elde edilmesi, zararlı yazılım yüklenmesi, finansal transferlerin gerçekleştirilmesi veya kurumsal sistemlere yetkisiz erişim sağlanmasıdır.

Son yıllarda üretken yapay zekâ teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte sosyal mühendislik saldırılarının daha gerçekçi ve ikna edici hâle geldiği görülmektedir. Yapay zekâ destekli metin üretimi sayesinde dil bilgisi hataları minimum seviyeye inerken, ses klonlama teknolojileri kullanılarak gerçekleştirilen vishing saldırıları ve derin sahte (deepfake) videolar yeni tehdit alanları oluşturmıştır. Böylece saldırganlar çok daha düşük maliyetle geniş kullanıcı kitlelerine ulaşabilmekte ve başarı oranlarını artırebilmektedir.

Kurumsal açıdan değerlendirildiğinde sosyal mühendislik saldırıları yalnızca finansal kayıplara neden olmamakta; aynı zamanda kişisel verilerin ihlali, fikri mülkiyet haklarının kaybı, operasyonel kesintiler, hukuki yaptırımlar ve kurumsal itibarın zedelenmesi gibi ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Özellikle kritik altyapılara yönelik saldırılar, enerji, ulaştırma, sağlık ve finans sektörlerinde ulusal güvenliği tehdit edebilecek boyutlara ulaşabilmektedir.

Bu nedenle günümüz siber güvenlik stratejileri yalnızca teknik savunma mekanizmalarına değil, aynı zamanda insan odaklı güvenlik politikalarına da odaklanmaktadır. Kullanıcı farkındalık eğitimleri, düzenli oltalama simülasyonları, çok faktörlü kimlik doğrulama, güvenlik kültürünün geliştirilmesi ve sıfır güven (Zero Trust) yaklaşımı sosyal mühendislik saldırılarına karşı en etkili koruma yöntemleri arasında gösterilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı; sosyal mühendislik kavramını kapsamlı biçimde açıklamak, günümüzde yaygın olarak kullanılan saldırı türlerini incelemek, bireyler ve kurumlar üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve güncel korunma yöntemlerini akademik literatür ışığında ortaya koymaktır. Ayrıca son yıllarda yapay zekâ teknolojilerinin sosyal mühendislik saldırıları üzerindeki etkileri değerlendirilerek insan odaklı siber güvenlik yaklaşımlarının önemi tartışılmaktadır.

2. SOSYAL MÜHENDİSLİK KAVRAMI VE İNSAN FAKTÖRÜ

2.1. Sosyal Mühendislik Kavramı

Siber güvenlik alanında teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte saldırı yöntemleri de önemli ölçüde çeşitlenmiştir. Güvenlik duvarları, saldırı tespit sistemleri, şifreleme algoritmaları ve yapay zekâ destekli güvenlik çözümleri teknik saldırıların büyük bölümünü engelleyebilmektedir. Ancak bu gelişmelere rağmen insan faktörü, bilgi güvenliğinin en zayıf halkası olmaya devam etmektedir. Bu nedenle saldırganlar, karmaşık yazılımlar geliştirmek yerine çoğu zaman kullanıcıları psikolojik yöntemlerle manipüle etmeyi tercih etmektedir. İşte bu yaklaşım sosyal mühendislik olarak tanımlanmaktadır.

Sosyal mühendislik; bireylerin güvenini kazanarak, psikolojik eğilimlerini kullanarak veya çeşitli ikna tekniklerinden yararlanarak gizli bilgilerin elde edilmesini ya da mağdurun belirli davranışlarda bulunmasının sağlanmasını amaçlayan saldırı yöntemlerinin genel adıdır. Bu saldırılar teknik sistemlerden çok insanların karar verme süreçlerini hedef almaktadır. Dolayısıyla sosyal mühendislik, bilgisayar sistemlerine yönelik doğrudan teknik saldırılardan farklı olarak insan psikolojisi üzerine kurulmuş bir siber saldırı yöntemidir.

Literatürde sosyal mühendislik kavramı farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Hadnagy (2021), sosyal mühendisliği "insanların doğal davranışlarını kullanarak güven oluşturma ve bu güven üzerinden bilgi elde etme sanatı" olarak tanımlamaktadır. Mitnick ve Simon (2002) ise sosyal mühendisliği, insanların güven duygusunu istismar ederek güvenlik mekanizmalarını aşma yöntemi olarak açıklamaktadır. Her iki tanım da teknik sistemlerden ziyade insan davranışlarının hedef alındığını göstermektedir.

Sosyal mühendislik saldırılarının başarısı büyük ölçüde insanların psikolojik özelliklerine dayanmaktadır. İnsanlar günlük yaşamlarında güvenmeye, yardım etmeye ve otoriteye itaat etmeye eğilimlidir. Salırganlar bu doğal davranış biçimlerini kendi amaçları doğrultusunda

kullanmaktadır. Özellikle zaman baskısı oluşturmak, korku yaratmak, ödül vaat etmek veya aciliyet hissi oluşturmak saldırının başarı ihtimalini önemli ölçüde artırmaktadır.

Son yıllarda üretken yapay zekâ teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte sosyal mühendislik saldırıları daha gerçekçi bir yapıya kavuşmuştur. Yapay zekâ destekli e-posta içerikleri, ses klonlama uygulamaları ve deepfake videolar sayesinde saldırganlar hedef kişileri ikna etmede geçmiş yıllara göre çok daha başarılı olmaktadır. Bu nedenle sosyal mühendislik yalnızca psikoloji temelli bir saldırı yöntemi olmaktan çıkmış, yapay zekâ teknolojileriyle desteklenen hibrit bir tehdit hâline gelmiştir.

2.2. Sosyal Mühendisliğin Psikolojik Temelleri

Sosyal mühendislik saldırılarının temelinde insan psikolojisini etkileyen bazı evrensel davranış kalıpları bulunmaktadır. Salırganlar genellikle aşağıdaki psikolojik ilkelerden yararlanmaktadır:

Güven Duygusu: İnsanlar kendilerine güven veren kişi veya kurumlarla daha kolay bilgi paylaşmaktadır. Salırganlar banka çalışanı, kurum yöneticisi veya teknik destek personeli kimliğine bürünerek güven oluşturmaktadır.

Otorite Algısı: İnsanlar üst düzey yöneticilerden veya resmi kurumlardan gelen talepleri sorgulamadan yerine getirme eğilimindedir. CEO dolandırıcılığı (Business Email Compromise) bu yöntemin en bilinen örneklerinden biridir.

Aciliyet Hissi: "Hesabınız 10 dakika içinde kapanacaktır." veya "Ödülü almak için son şans." gibi ifadeler kullanıcıların düşünmeden hareket etmesine neden olmaktadır.

Merak Duygusu: Gizli maaş listesi, sınav sonuçları veya önemli belge gibi dikkat çekici dosya isimleri kullanıcıların zararlı bağlantılara tıklamasına yol açmaktadır.

Yardımseverlik: İnsanlar yardım etmek amacıyla farkında olmadan güvenlik prosedürlerini ihlal edebilmektedir. Özellikle fiziksel güvenlik saldırılarında bu yöntem sıkça kullanılmaktadır.

Karşılıklılık İlkesi: Küçük bir iyilik yapan kişiye karşılık verme isteği, salırganların bilgi toplamasını kolaylaştırmaktadır.

Bu psikolojik mekanizmalar yalnızca bireysel kullanıcıları değil, yüksek güvenlik seviyesine sahip kurum çalışanlarını da etkileyebilmektedir. Yapılan araştırmalar, düzenli siber güvenlik eğitimi alan personelin dahi zaman baskısı altında sosyal mühendislik saldırılarına karşı hata yapabildiğini göstermektedir.

2.3. Sosyal Mühendislik Saldırılarının Yaşam Döngüsü

Sosyal mühendislik saldırıları çoğunlukla belirli aşamalardan oluşan planlı bir süreç şeklinde gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada salırgan hedef kişi veya kurum hakkında mümkün olduğunca fazla bilgi toplamaktadır. Sosyal medya hesapları, kurumsal internet siteleri, basın açıklamaları ve profesyonel ağlar bu amaçla kullanılan başlıca kaynaklardır. Elde edilen bilgiler doğrultusunda hedef kişinin ilgi alanları, görev tanımı, iletişim ağı ve kurumsal ilişkileri analiz edilmektedir.

İkinci aşamada saldırgan güven oluşturmaya çalışmaktadır. Kurumsal e-posta tasarımlarının taklit edilmesi, resmi logoların kullanılması veya gerçek çalışan isimlerinin taklit edilmesi bu süreci desteklemektedir.

Manipülasyon aşamasında psikolojik teknikler devreye girmektedir. Kullanıcıdan parola paylaşması, zararlı dosya indirmesi, para transferi yapması veya güvenlik doğrulama kodunu paylaşması istenmektedir. Başarılı olunması durumunda saldırgan hedef sisteme erişim sağlayarak veri hırsızlığı, fidye yazılımı kurulumu veya finansal dolandırıcılık gibi faaliyetleri gerçekleştirmektedir.

Son aşamada ise saldırgan elde ettiği erişimin tespit edilmesini önlemek amacıyla izlerini silmeye çalışmaktadır. Log kayıtlarının değiştirilmesi, geçici hesapların silinmesi veya zararlı yazılımların gizlenmesi bu aşamanın temel faaliyetleridir.

2.4. İnsan Faktörünün Siber Güvenlikteki Önemi

Teknolojik güvenlik çözümleri her geçen gün gelişmesine rağmen insan davranışları aynı hızda değişmemektedir. Verizon tarafından yayımlanan güncel Veri İhlali Araştırma Raporları, güvenlik olaylarının önemli bir bölümünde insan kaynaklı hataların etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle kimlik avı saldırıları ve yanlış yapılandırılmış kullanıcı işlemleri veri ihlallerinin temel nedenleri arasında yer almaktadır.

Kurumlarda çalışan personelin bilgi güvenliği farkındalığının düşük olması, güçlü teknik altyapıya sahip kuruluşlarda dahi ciddi güvenlik açıklarına neden olabilmektedir. Bu nedenle günümüzde "insan güvenlik duvarı (Human Firewall)" kavramı ön plana çıkmıştır. İnsan güvenlik duvarı yaklaşımı, çalışanların düzenli eğitimlerle güvenlik zincirinin aktif bir parçası hâline getirilmesini ifade etmektedir.

Bunun yanında uzaktan çalışma modellerinin yaygınlaşması, kişisel cihazların kurumsal sistemlerde kullanılması (BYOD), bulut tabanlı uygulamaların artması ve mobil teknolojilerin gelişmesi sosyal mühendislik saldırılarının başarı oranını artırmıştır. Özellikle ev ortamında çalışan kullanıcıların fiziksel güvenlik kontrollerinin zayıf olması ve kurumsal denetimin azalması yeni risk alanları oluşturmuştur.

Son yıllarda yapay zekâ destekli sosyal mühendislik saldırılarının ortaya çıkması ise insan faktörünün önemini daha da artırmıştır. Gerçek insan sesinin taklit edilmesi, kişiye özel hazırlanmış oltalama mesajları ve derin sahte videolar kullanıcıların saldırıyı fark etmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle kurumların yalnızca teknolojik yatırımlara değil, güvenlik kültürünün geliştirilmesine de öncelik vermesi gerekmektedir.

Bu bölümde sosyal mühendislik kavramı, psikolojik temelleri, saldırı yaşam döngüsü ve insan faktörünün siber güvenlikteki kritik rolü ele alınmıştır. Değerlendirmeler, saldırıların başarısında teknik açıkların yanında insan davranışlarının belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu nedenle sosyal mühendislik saldırılarıyla mücadelede teknik güvenlik çözümlerinin yanı sıra kullanıcı farkındalığının artırılması, düzenli eğitimlerin verilmesi ve kurumsal güvenlik kültürünün geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

3. SOSYAL MÜHENDİSLİK SALDIRI TÜRLERİ

Sosyal mühendislik saldırıları, teknolojik güvenlik mekanizmalarını doğrudan hedef almak yerine insan davranışlarını manipüle ederek bilgi sistemlerine erişim sağlamayı amaçlayan yöntemlerdir[1]. Saldırganlar; güven oluşturma, otorite kullanma, korku yaratma, merak uyandırma ve aciliyet hissi oluşturma gibi psikolojik tekniklerden yararlanarak bireyleri belirli davranışlara yönlendirmektedir. Günümüzde dijital iletişim kanallarının çeşitlenmesiyle birlikte sosyal mühendislik saldırıları da farklı yöntemlerle gerçekleştirilmektedir[3]. Özellikle yapay zekâ teknolojilerinin gelişmesi, bu saldırıların daha gerçekçi ve tespit edilmesi güç hale gelmesine neden olmuştur.

Bu bölümde günümüzde en yaygın kullanılan sosyal mühendislik saldırı türleri ayrıntılı olarak incelenmektedir.

3.1. Oltalama (Phishing)

Oltalama (Phishing), sosyal mühendislik saldırılarının en yaygın ve en başarılı yöntemlerinden biridir[4]. Bu saldırıda amaç, kullanıcıların banka bilgileri, kullanıcı adı, parola, kredi kartı bilgileri veya tek kullanımlık doğrulama kodları gibi hassas bilgilerini elde etmektir.

Saldırganlar genellikle banka, e-devlet sistemi, kargo şirketi, üniversite veya kurumsal bilgi işlem birimi gibi güvenilir kuruluşları taklit eden e-postalar göndermektedir. Bu e-postalarda kullanıcıların sahte internet sitelerine yönlendirilmesi veya zararlı dosyaları indirmesi amaçlanmaktadır.

Son yıllarda oltalama saldırılarının başarısını artıran önemli faktörlerden biri yapay zekâ teknolojileridir. Üretken yapay zekâ sistemleri sayesinde saldırırganlar dil bilgisi hatası içermeyen, hedef kişiye özel hazırlanmış ve oldukça ikna edici e-postalar oluşturabilmektedir.

Oltalama saldırılarında yaygın olarak kullanılan ifadeler şunlardır:

- Hesabınız askıya alınacaktır.
- Şifrenizi hemen güncelleyin.
- Kargonuz teslim edilemedi.
- Vergi iadeniz hazır.
- Güvenlik doğrulaması gerekmektedir.

Bu tür ifadeler kullanıcıda aciliyet hissi oluşturarak düşünmeden işlem yapmasını sağlamaktadır.

3.2. Hedefe Yönelik Oltalama (Spear Phishing)

Spear Phishing, klasik oltalama saldırılarının kişiye özel hazırlanmış biçimidir. Bu yöntemde saldırırgan hedef kişi hakkında önceden ayrıntılı bilgi toplamaktadır[2].

Sosyal medya hesapları, LinkedIn profilleri, kurum web siteleri ve kamuya açık belgeler saldırırganlar için önemli bilgi kaynaklarıdır.

Örneğin;

"Sayın Ahmet Yıldız,

Dün gerçekleştirdiğiniz TÜBİTAK proje toplantısına ait güncellenmiş dosya ekte yer almaktadır."

şeklinde hazırlanan bir e-posta, genel ortalama mesajlarına göre çok daha yüksek başarı oranına sahiptir.

Araştırmalar, hedefe yönelik ortalama saldırılarının klasik phishing saldırılarından çok daha başarılı olduğunu göstermektedir.

3.3. Balina Avı (Whaling)

Whaling saldırıları kurumların üst düzey yöneticilerini hedef almaktadır.

CEO

Genel Müdür

Rektör

Dekan

Finans Direktörü

Bilgi İşlem Daire Başkanı

gibi karar verici kişiler saldırganların öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır.

Bu saldırılarda milyonlarca liralık para transferleri gerçekleştirilebilmekte veya kritik kurumsal belgeler ele geçirilebilmektedir.

Business Email Compromise (BEC) saldırıları bu kategoride değerlendirilmektedir.

IBM'in yayımladığı raporlara göre kurumsal finansal kayıpların önemli bölümü BEC saldırılarından kaynaklanmaktadır.

3.4. Telefon Dolandırıcılığı (Vishing)

Vishing (Voice Phishing), telefon görüşmeleri aracılığıyla gerçekleştirilen sosyal mühendislik saldırıdır.

Saldırganlar;

- banka görevlisi
- polis
- savcı
- teknik destek uzmanı
- çağrı merkezi çalışanı

kimliğine bürünmektedir.

Son yıllarda yapay zekâ destekli ses klonlama teknolojileri sayesinde gerçek kişinin sesi neredeyse birebir taklit edilebilmektedir.

Bu durum özellikle finans kuruluşları açısından önemli risk oluşturmaktadır.

3.5. SMS Dolandırıcılığı (Smishing)

Smishing saldırılarında kısa mesaj (SMS) kullanılmaktadır.

Örneğin;

Kargonuz teslim edilemedi.

Vergi borcunuz bulunmaktadır.

Hesabınız bloke edilmiştir.

şeklindeki mesajlarla kullanıcılar sahte internet sitelerine yönlendirilmektedir.

Mobil bankacılık uygulamalarının yaygınlaşması nedeniyle smishing saldırıları son yıllarda önemli ölçüde artmıştır.

3.6. Yemleme (Baiting)

Baiting saldırılarında saldırgan mağdura cazip görünen bir ödül sunmaktadır.

Örneğin;

- ücretsiz yazılım
- film
- lisans anahtarı
- USB bellek
- promosyon

gibi teklifler kullanılmaktadır.

En bilinen örneklerden biri kurum otoparkına bırakılan USB belleklerdir.

Merak eden kullanıcı belleği bilgisayarına taktığında zararlı yazılım otomatik olarak sisteme yüklenmektedir.

3.7. Senaryo Oluşturma (Pretexting)

Pretexting saldırılarında saldırgan önceden hazırlanmış bir hikâye oluşturmaktadır.

Örneğin;

"Bilgi İşlem Müdürlüğünden arıyorum."

"İnsan Kaynaklarından arıyorum."

"Yeni maaş sistemi güncellenecek."

şeklindeki senaryolarla kullanıcıdan parola veya kişisel bilgiler istenmektedir.

Bu saldırılar özellikle telefon görüşmeleri sırasında oldukça başarılı olmaktadır.

3.8. Fiziksel Takip (Shoulder Surfing)

Shoulder Surfing saldırıları dijital değil fiziksel ortamda gerçekleştirilmektedir.

Saldırgan;

- ATM
- havaalanı
- üniversite
- banka
- kafeterya

gibi kalabalık ortamlarda kullanıcıların ekranlarını veya klavye girişlerini izleyerek şifreleri öğrenmektedir.

Uzaktan çalışan personelin ortak çalışma alanlarını kullanması bu saldırı riskini artırmaktadır.

3.9. Yetkisiz Fiziksel Giriş (Tailgating)

Tailgating saldırılarında saldırgan yetkili personelin arkasından kuruma giriş yapmaktadır.

Örneğin;

"Kapıyı tutabilir misiniz?"

şeklindeki masum görünen istekler fiziksel güvenlik ihlallerine neden olabilmektedir.

Bu yöntem özellikle veri merkezleri ve kritik altyapılar açısından ciddi risk oluşturmaktadır.

3.10. Karşılık Bekleme (Quid Pro Quo)

Bu saldırıda saldırgan belirli bir hizmet karşılığında bilgi talep etmektedir.

Örneğin;

"Bilgisayarınızı hızlandıracağım."

"Ücretsiz teknik destek vereceğim."

İfadeleriyle kullanıcıdan sisteme uzaktan erişim izni istenmektedir.

3.11. Yapay Zekâ Destekli Sosyal Mühendislik Saldırıları

Üretken yapay zekâ teknolojilerinin gelişmesi sosyal mühendislik saldırılarında yeni bir dönemi başlatmıştır.

Günümüzde saldırganlar;

- ses klonlama,
- deepfake videolar,
- yapay zekâ destekli e-posta üretimi,
- otomatik sohbet botları,
- kişiselleştirilmiş ortalama içerikleri

oluşturabilmektedir.

Özellikle büyük dil modelleri kullanılarak hazırlanan ortalama e-postaları geçmiş yıllardaki saldırılara göre çok daha profesyonel görünmektedir.

Ayrıca sosyal medya üzerinden elde edilen bilgiler kullanılarak her kullanıcı için farklı saldırı senaryoları hazırlanabilmektedir.

Bu durum klasik güvenlik eğitimlerinin güncellenmesini zorunlu hale getirmektedir.

Çizelge 1. Sosyal Mühendislik Saldırı Türlerinin Karşılaştırılması

Saldırı Türü	Kullanılan Yöntem	Temel Hedef	Korunma Yöntemi
Phishing	Sahte e-posta	Kimlik bilgileri	MFA, e-posta filtreleme
Spear Phishing	Kişiyi özel e-posta	Kritik kullanıcılar	Farkındalık eğitimi
Whaling	Yönetici hedefleme	Finansal bilgiler	Çok aşamalı onay
Smishing	SMS	Mobil kullanıcılar	Bağlantı doğrulama
Vishing	Telefon	Kimlik bilgileri	Kimlik doğrulama prosedürü
Baiting	USB, ücretsiz içerik	Zararlı yazılım	USB kullanım politikası
Pretexting	Senaryo oluşturma	Gizli bilgiler	Kurumsal doğrulama
Tailgating	Fiziksel giriş	Kurumsal erişim	Kartlı geçiş sistemi
Shoulder Surfing	Fiziksel gözlem	Parolalar	Gizlilik filtresi
AI Destekli Saldırıları	Deepfake, ses klonlama	Çok yönlü veri hırsızlığı	Yapay zekâ destekli güvenlik çözümleri

Sosyal mühendislik saldırıları sürekli gelişen ve teknolojik yeniliklerden yararlanan dinamik tehditlerdir. Geleneksel ortalama saldırılarının yanı sıra hedefe yönelik saldırılar, yapay zekâ destekli kimlik taklitleri ve fiziksel güvenlik ihlalleri kurumlar için ciddi riskler oluşturmaktadır. Bu çeşitlilik, tek bir güvenlik önleminin yeterli olmadığını göstermektedir. Etkin bir savunma için teknik kontroller, güvenlik politikaları ve kullanıcı farkındalığını birlikte ele alan çok katmanlı bir yaklaşım benimsenmelidir.

4. SOSYAL MÜHENDİSLİK SALDIRILARINA KARŞI KORUNMA YÖNTEMLERİ

Sosyal mühendislik saldırıları, teknik güvenlik önlemlerinden ziyade insan davranışlarını hedef aldığı için klasik siber güvenlik yaklaşımlarıyla tamamen engellenmesi zor tehditlerdir[5]. Bu nedenle korunma stratejileri yalnızca teknolojik çözümleri değil, aynı zamanda insan faktörünü merkeze alan bütüncül bir güvenlik yaklaşımını içermelidir. Bu bölümde, sosyal mühendislik saldırılarına karşı kurumsal ve bireysel düzeyde uygulanabilecek temel korunma yöntemleri ele alınmaktadır.

4.1. Farkındalık ve Güvenlik Eğitimleri

Sosyal mühendislik saldırılarına karşı en etkili savunma hattı kullanıcı farkındalığıdır. Çalışanların düzenli olarak siber güvenlik eğitimlerine tabi tutulması, saldırı türlerinin tanınmasını ve şüpheli durumların doğru analiz edilmesini sağlar[6]. Özellikle phishing

(oltalama), spear phishing ve telefonla dolandırıcılık gibi yaygın yöntemlerin gerçek örneklerle anlatılması, farkındalık düzeyini artırmaktadır.

Kurumsal yapılarda simülasyon tabanlı saldırı testleri uygulanması da oldukça etkilidir. Bu yöntemle çalışanların gerçek bir saldırı anındaki refleksleri ölçülür ve zayıf noktalar tespit edilerek geliştirme yapılır.

4.2. Kimlik Doğrulama ve Erişim Kontrolleri

Güçlü kimlik doğrulama mekanizmaları, sosyal mühendislik saldırılarının etkisini önemli ölçüde azaltmaktadır. Çok faktörlü kimlik doğrulama (MFA), yalnızca şifre kullanımına dayalı sistemlere göre çok daha güvenlidir.

Bunun yanı sıra, rol tabanlı erişim kontrolü (RBAC) sayesinde çalışanların yalnızca görevleri için gerekli verilere erişmesi sağlanarak bilgi sızıntısı riski minimize edilir. Yetkisiz erişimlerin erken tespiti için log kayıtlarının düzenli olarak izlenmesi de kritik bir önlemdir.

4.3. Kurumsal Güvenlik Politikaları

Her kurumun yazılı ve uygulanabilir bir bilgi güvenliği politikası olması gereklidir. Bu politikalar; şifre kullanımı, e-posta güvenliği, veri paylaşımı ve dış kaynaklarla iletişim gibi konuları kapsamalıdır.

Ayrıca çalışanların bilinmeyen bağlantılara tıklamaması, doğrulanmamış kişilerle hassas bilgi paylaşmaması gibi temel kurallar açık şekilde tanımlanmalıdır. Güvenlik politikalarının düzenli olarak güncellenmesi, yeni tehditlere karşı uyum sağlanmasını kolaylaştırır.

4.4. Teknolojik Önlemler

Teknolojik çözümler sosyal mühendislik saldırılarını tamamen engellemese de riskleri önemli ölçüde azaltır. E-posta filtreleme sistemleri, zararlı içeriklerin kullanıcıya ulaşmasını engellerken; antivirüs ve uç nokta koruma sistemleri olası zararlı yazılımları tespit eder.

Ayrıca güvenlik duvarları, ağ trafiğini izleyerek şüpheli hareketleri analiz eder. Yapay zekâ destekli güvenlik sistemleri ise anormal davranışları tespit ederek erken uyarı mekanizmaları oluşturur.

4.5. Psikolojik Dayanıklılık ve İnsan Faktörü

Sosyal mühendislik saldırıları çoğunlukla korku, aciliyet, otorite ve merak gibi psikolojik unsurlar üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle kullanıcıların psikolojik manipülasyon teknikleri konusunda bilinçlendirilmesi büyük önem taşır.

Çalışanların “acil işlem yap” baskısı altında karar vermemeleri gerektiği, her talebin doğrulanması gerektiği ve özellikle finansal işlemlerde ikinci onay mekanizmasının zorunlu olduğu kurum kültürü haline getirilmelidir.

4.6. Olay Müdahale Planları

Tüm önlemlere rağmen sosyal mühendislik saldırılarının başarılı olma ihtimali bulunmaktadır. Bu nedenle kurumların bir olay müdahale planı (incident response plan) olması gereklidir.

Bu plan; saldırının tespiti, izolasyonu, etkisinin azaltılması, sistemlerin yeniden güvenli hale getirilmesi ve raporlama süreçlerini içermelidir. Ayrıca olay sonrası analiz (post-incident analysis) yapılarak gelecekte benzer saldırıların önlenmesi sağlanmalıdır.

5. VAKA ANALİZLERİ, SONUÇ VE GENEL DEĞERLENDİRME

Sosyal mühendislik saldırılarının etkisini daha iyi anlamak için gerçek olaylar üzerinden yapılan incelemeler, hem saldırı tekniklerinin çeşitliliğini hem de insan faktörünün kritik rolünü açıkça ortaya koymaktadır. Bu bölümde literatürde sıkça yer verilen bazı önemli vakalar özetlenmiş, ardından genel sonuç ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

5.1. Önemli Sosyal Mühendislik Vaka Örnekleri

Sosyal mühendislik saldırıları, büyük ölçekli kurumları ve bireyleri hedef alarak ciddi maddi ve itibari kayıplara neden olabilmektedir[7].

5.1.1. CEO Fraud (Üst Düzey Yönetici Taklidi) Saldırıları

Bu tür saldırılarda saldırganlar, bir şirketin üst düzey yöneticisini taklit ederek muhasebe veya finans birimlerinden acil para transferi talep eder. E-posta adresi sahte olarak oluşturulur ve “acil, gizli işlem” vurgusu yapılır.

Özellikle uluslararası şirketlerde milyonlarca dolar kayıpla sonuçlanan olaylar rapor edilmiştir. Bu saldırıların temel başarısı, otorite ve aciliyet psikolojisinin kullanılmasıdır.

5.1.2. Phishing ve Spear Phishing Saldırıları

Phishing saldırıları, sahte e-postalar ve web siteleri üzerinden kullanıcı bilgilerini ele geçirmeyi amaçlar. Spear phishing ise hedefe özel hazırlanmış daha sofistike saldırılardır.

Örneğin, bir çalışanın bankasından geliyormuş gibi görünen sahte bir e-posta ile kullanıcı adı ve şifre bilgileri ele geçirilebilir. Bu yöntem günümüzde en yaygın sosyal mühendislik saldırısı olarak kabul edilmektedir.

5.1.3. 2011 RSA Güvenlik İhlali

RSA Security firmasına yönelik saldırıda, çalışanlara gönderilen bir phishing e-postası üzerinden zararlı bir Excel dosyası açtırılmıştır. Bu dosya, sistemlere sızmayı mümkün kılan bir açık oluşturmuştur.

Bu olay, yüksek güvenlikli bir siber güvenlik şirketinin bile insan faktörü nedeniyle saldırıya uğrayabileceğini göstermiştir.

5.1.4. SIM Swapping Saldırıları

SIM swapping saldırılarında saldırganlar, mobil operatörleri ikna ederek hedef kişinin telefon numarasını kendi SIM kartlarına taşır. Bu sayede SMS tabanlı doğrulama kodlarına erişim sağlarlar.

Bu yöntem özellikle kripto para hesaplarının ele geçirilmesinde sıkça kullanılmaktadır.

5.2. Genel Değerlendirme

Yapılan incelemeler göstermektedir ki sosyal mühendislik saldırılarının başarısı, teknik güvenlik açıklarından ziyade insan davranışlarına dayanmaktadır. En gelişmiş güvenlik sistemleri bile, kullanıcıların bilinçsiz davranışları nedeniyle etkisiz hale gelebilmektedir[8].

Bu nedenle siber güvenlik stratejileri yalnızca teknik önlemlerle sınırlı kalmamalı, insan odaklı bir güvenlik kültürü oluşturulmalıdır. Kurumlarda düzenli eğitimler, simülasyonlar ve güvenlik politikalarının uygulanması kritik önem taşımaktadır[9].

5.3. Sonuç

Sosyal mühendislik, günümüz siber tehdit ortamında en tehlikeli saldırı türlerinden biri olmaya devam etmektedir. Bunun temel nedeni, teknolojik sistemleri değil doğrudan insan psikolojisini hedef almasıdır.

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen yöntemler ve vakalar ışığında şu sonuçlara ulaşılmaktadır:

- Sosyal mühendislik saldırıları büyük oranda insan hatasına dayanmaktadır.
- Eğitim ve farkındalık, en etkili korunma yöntemidir.
- Teknik önlemler destekleyici rol oynamaktadır ancak tek başına yeterli değildir.
- Kurumsal güvenlik kültürü oluşturulmadan sürdürülebilir koruma sağlanamaz.

Sonuç olarak, siber güvenlik alanında başarılı bir savunma stratejisi, teknoloji, süreç ve insan faktörünün birlikte ele alındığı bütüncül bir yaklaşımı gerektirmektedir.

KAYNAKÇA

1. Abraham, S., & Chengalur-Smith, I. (2010). An overview of social engineering malware: Trends, tactics, and implications. *Technology in Society*, 32(3), 183–189.
<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2010.07.001>
2. Bakhshi, T., Papadaki, M., & Furnell, S. (2017). Social engineering: Assessing vulnerability to phishing attacks. *IEEE Security & Privacy Workshops*, 127–132.
<https://doi.org/10.1109/SPW.2017.38>
3. Force, J. T. (2020). *Security and privacy controls for information systems and organizations* (No. NIST Special Publication (SP) 800-53 Rev. 5 (Withdrawn)). National Institute of Standards and Technology.
4. Hadnagy, C. (2018). *Social engineering: The science of human hacking*. Wiley publ.
5. Hong, J. (2012). The state of phishing attacks. *Communications of the ACM*, 55(1), 74–81.
<https://doi.org/10.1145/2063176.2063197>
6. Mitnick, K. D., & Simon, W. L. (2003). *The art of deception: Controlling the human element of security*. John Wiley & Sons.
7. Ngo, C., Demchenko, Y., & De Laat, C. (2015). Decision diagrams for XACML policy evaluation and management. *Computers & Security*, 49, 1-16.

8. Purkait, S. (2012). Phishing counter measures and their effectiveness—literature review. *Information Management & Computer Security*, 20(5), 382-420.
9. Ünal, C., & Yıldırım, H. (2025). Challenges and New Strategies Faced by Financial Intelligence Units in Monitoring Cryptocurrency Transactions. *Acta Infologica*, 9(2), 562-579.

AMELİYAT ÖNCESİ VE SIRASINDA UYGULANAN MÜZİK TERAPİNİN HASTALARDA ANKSİYETE ÜZERİNE ETKİSİ

Hemşire, Kübra AVCI

Artvin Çoruh Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi,
avcikubra471@gmail.com - ORCID ID: 0009-0005-2137-6650

Dr. Öğr. Üyesi, Enes BULUT

Artvin Çoruh Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi,
bulutts61@artvin.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1579-6887

ÖZET

Giriş: Cerrahi girişimler ve ameliyathane ortamları, hastalarda strese ve buna bağlı fizyolojik yanıtların belirgin şekilde artmasına neden olmaktadır. Ameliyathanelerin hastalara yabancılığı, karmaşık tıbbi cihazların sesleri, cerrahi sürece ilişkin belirsizlikler ve kontrol kaybı hissi gibi durumlar otonom sinir sistemini aktive ederek özellikle kalp atım hızı ve kan basıncında artışa yol açmaktadır. bu olumsuz yanıtların minimize edilmesinde düşük maliyetli ve etkin bir nonfarmakolojik yöntem olan müzik terapi; anksiyete yönetimi, hemodinamik parametrelerin stabilizasyonu ve operasyonel aksamaların önlenmesinde kritik bir klinik girişim olarak öne çıkmaktadır.

Amaç: Perioperatif dönemde müzik terapinin hastalarda anksiyete ve ağrı üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalara ilişkin bilgi sunmaktır.

Konunun Literatürü: Literatürde yer alan çalışmalar, perioperatif süreçte uygulanan müzik terapisinin hastaların anksiyete düzeylerini olumlu yönde etkilediğini ve genel klinik sonuçları iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. Rahmatı ve ark. (2018) ile Ligree ve ark. (2023), müzik uygulamalarının cerrahi öncesi ve esnasındaki kaygıyı anlamlı düzeyde düşürdüğünü saptarken; Öztürk (2025) katarakt cerrahisinde, Guétin ve ark. (2018) ise doğum sürecinde müziğin hem anksiyete hem de ağrı yönetiminde etkin bir rol oynadığını doğrulamıştır. Diğer taraftan Narayanan ve Gray (2018), müziğin cerrahi ekibin performansını ve ruh halini iyileştirerek sürece olumlu katkı sağladığını, ancak iletişim engelleri ve kriz anlarındaki dikkat dağınıklık potansiyeli nedeniyle uygulama protokollerinin titizlikle yapılandırılması gerektiğini vurgulamıştır.

Sonuç ve Öneriler: Perioperatif müzik terapisi; ağrı ve anksiyeteyi azaltan, hasta memnuniyetini ve hemodinamik stabiliteyi artıran güvenli ve düşük maliyetli bir girişimdir. Ekip motivasyonuna olumlu yansısı da iletişim üzerindeki etkileri nedeniyle dikkatle planlanması gereken bu uygulamanın, hasta tercihleri doğrultusunda standart bakım protokollerine dahil edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler : Ağrı, anestezi, anksiyete, cerrahi, müzik terapi

THE EFFECT OF MUSIC THERAPY APPLIED BEFORE AND DURING SURGERY ON ANXIETY IN PATIENTS

ABSTRACT

Introduction: Surgical procedures and operating room environments cause a significant increase in stress and related physiological responses in patients. Situations such as the unfamiliarity of operating rooms to patients, the sounds of complex medical devices, uncertainties regarding the surgical process, and the feeling of loss of control activate the autonomic nervous system, leading to an increase in heart rate and blood pressure in particular. Music therapy, a low-cost and effective non-pharmacological method, stands out as a critical clinical intervention in minimizing these negative responses; managing anxiety, stabilizing hemodynamic parameters, and preventing operational disruptions.

Aim: To present information on studies examining the effects of music therapy on anxiety and pain in patients during the perioperative period.

Subject literature: Studies in the literature show that music therapy applied in the perioperative process positively affects patients' anxiety levels and improves overall clinical outcomes. Rahmati et al. (2018) and Ligree et al. (2023) found that music applications significantly reduced anxiety before and during surgery; Öztürk (2025) confirmed that music plays an effective role in both anxiety and pain management in cataract surgery, while Guétin et al. (2018) confirmed this in the birthing process. On the other hand, Narayanan and Gray (2018) emphasized that music positively contributes to the process by improving the performance and mood of the surgical team, but that application protocols should be meticulously structured due to communication barriers and the potential for distraction during crisis situations.

Conclusion and Recommendations: Perioperative music therapy is a safe and low-cost intervention that reduces pain and anxiety, increases patient satisfaction and hemodynamic stability. Although it positively impacts team motivation, this application, which needs to be carefully planned due to its effects on communication, is recommended to be included in standard care protocols in line with patient preferences.

Keywords: Pain, anesthesia, anxiety, surgery, music therapy

1.GİRİŞ

Cerrahi süreç; ameliyat öncesi (preoperatif), ameliyat sırası (intraoperatif) ve ameliyat sonrası (postoperatif) dönemlerden oluşmaktadır. Günümüzde cerrahi girişimler, tanı ve tedavi süreçlerinde yaygın olarak kullanılan ve modern tıbbın önemli bir parçasını oluşturan uygulamalardır. Bununla birlikte cerrahi süreç, hastalar açısından yalnızca fiziksel değil aynı zamanda psikolojik açıdan da stres oluşturabilen bir deneyimdir. Cerrahi girişime ilişkin belirsizlikler, ameliyathane ortamındaki gürültü, karmaşık cihaz sesleri ve operasyonun sonucuna yönelik endişeler hastalarda stres ve anksiyeteye neden olabilmektedir (Li ve ark., 2025). Özellikle preoperatif dönemde hastalar; ağrı beklentisi, anesteziye ilişkin korkular, eski yaşantılarına dönememe düşüncesi ve cerrahi sonuçlara yönelik kaygılar nedeniyle yoğun anksiyete yaşayabilmektedir. Yapılan çalışmalar, cerrahi girişim öncesinde hastaların önemli bir kısmında orta ve yüksek düzeyde anksiyete görüldüğünü ortaya koymaktadır (Bello ve ark., 2025).

Artmış fiziksel stres tepkisi, anesteziyi takiben bir dizi olumsuz sonuçla ilişkilendirilmektedir. Bunlar arasında ameliyat sonrası bulantı ve kusma, ağrı, uykusuzluk, gecikmiş iyileşme, uzamış hastane yatış süresi ve hatta uzun dönem mortalite yer almaktadır (Ni ve ark., 2023).

Perioperatif anksiyetenin farmakolojik tedavisinde midazolam gibi benzodiazepinler sıklıkla tercih edilmektedir (Madsen ve ark., 2020). Ancak bu ilaçların doz ve kullanım sürelerinin dikkatli bir şekilde planlanması gerekmektedir. Güncel tartışmalar, benzodiazepinlerin deliryum riskini artırabileceğini öne sürmektedir (Kok ve ark., 2018). Bu riskler nedeniyle son yıllarda non-farmakolojik girişimlere olan ilgi artmıştır. Non-farmakolojik girişimler; düşük maliyetli, uygulanması kolay ve yan etkisi bulunmayan yöntemlerdir. Bunlar arasında bilişsel davranışçı terapi (BDT), eğitim videoları, gevşeme teknikleri, nefes egzersizleri, terapötik iletişim, müzik terapi, aromaterapi ve masaj uygulamaları yer almaktadır (Kisiełewska ve ark., 2025).

Son dönemde teknolojik gelişmelerin artmasıyla birlikte sanal gerçeklik (VR) uygulamaları ve özellikle çocuklarda cerrahi anksiyeteyi azaltmaya yönelik interaktif robotların kullanımı yaygınlaşmaktadır (Topcu ve ark., 2023; Köse ve ark., 2026). Ancak bu uygulamalar, yüksek teknoloji gereksinimi nedeniyle hastaneler açısından önemli maliyet yükleri oluşturabilmektedir (Lattré ve ark., 2025). Bu nedenle hastane yönetimleri ve sağlık profesyonelleri, daha hızlı, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir yöntemlere yönelmektedir (Çelik ve ark., 2024).

Bu uygulamalardan biri olan müzik terapinin fizyolojik etkisi; işitsel sistem, limbik sistem ve otonom sinir sistemi arasındaki etkileşimle açıklanmaktadır. Müzik dinlenmesi sırasında ses uyarıları işitsel kortekse iletilmekte ve burada limbik sistemin özellikle amigdala ve hipokampus bölgeleri aktive olmaktadır. Bu aktivasyon, bireyin emosyonel durumunu etkileyerek hipotalamus aracılığıyla stres yanıtını düzenlemektedir. Böylece sempatik sinir sistemi aktivitesi azalırken parasempatik aktivite artabilmektedir. Bunun sonucunda kalp atım hızı, kan basıncı, solunum sayısı ve kas gerginliğinde azalma görülebilmektedir. Ayrıca müziğin kortizol düzeylerini düşürdüğü; dopamin, serotonin ve endorfin gibi nörokimyasal maddelerin salınımını artırarak gevşeme ve rahatlama sağladığı bildirilmektedir. Özellikle

yavaş ritimli ve hastanın tercih ettiği müziklerin otonom sinir sistemi üzerinde daha belirgin düzenleyici etki oluşturduğu belirtilmektedir (Thoma ve ark., 2013; Saskovets ve ark., 2025).

Müzik terapi; düşük maliyetli, kolay uygulanabilir ve noninvaziv bir yöntem olması nedeniyle son yıllarda giderek daha fazla dikkat çekmekte, hem hastalar hem de sağlık profesyonelleri tarafından ilgi görmektedir. Müzik terapinin en önemli avantajlarından biri, herhangi bir yan etkiye sahip olmaması ve hastalar tarafından kolaylıkla kabul edilebilir olmasıdır. Bu özellikleri sayesinde hemşirelik bakımında bütüncül yaklaşımın önemli bir parçası olarak kullanılabilir. Özellikle preoperatif ve intraoperatif dönemde uygulandığında hastanın dikkatini farklı bir yöne çekerek kaygı düzeyini azaltmakta ve rahatlama sağlamaktadır. Aynı zamanda hasta konforunu artırarak cerrahi sürecin hasta açısından daha olumlu deneyimlenmesine katkıda bulunmaktadır (Parr ve Hu, 2025).

Perioperatif dönemde kullanılan müzik terapinin etkileri; hastanın yaşı, cerrahi işlem türü, anestezi yöntemi, kullanılan müzik türü ve uygulama süresi gibi birçok faktöre göre farklılık gösterebilmektedir. Özellikle hastanın kendi tercih ettiği müziklerin kullanıldığı uygulamalarda anksiyete düzeyinde daha belirgin azalma görüldüğü bildirilmektedir. Bununla birlikte bazı çalışmalarda klasik müzik, doğa sesleri ve yavaş tempolu rahatlatıcı müziklerin gevşeme üzerinde daha etkili olduğu belirtilirken, bazı araştırmalarda müzik türünden çok hastanın bireysel tercihinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Hastanın kendi seçtiği müziğin, klasik müziğe kıyasla anksiyeteyi azaltmada ve iyileşme kalitesini artırmada daha etkili olduğu bildirilmiştir (Akelma ve ark., 2024; Pourmohammad ve ark., 2026).

Öte yandan başka bir çalışmada, hastanın seçtiği müzik ile önceden belirlenmiş müziklerin cerrahi anksiyete üzerindeki etkileri arasında anlamlı bir fark bulunmadığı, her iki uygulamanın da anksiyeteyi anlamlı düzeyde azalttığı gösterilmiştir (Reynaud ve ark., 2021). Bazı çalışmalarda ise müzik makamlarının etkileri incelenmiş; sezaryen öncesinde annelere sufi, neva, acemaşiran ve hicaz makamlarının dinletildiği uygulamalarda annelerin anksiyete düzeylerinde ve kan basınçlarında azalma gözlemlenmiştir (Horasanlı ve ark., 2022; Güney ve ark., 2024).

Bu bulgular, müzik terapinin etkisinin bireysel ve psikososyal özelliklere göre değişebilen çok boyutlu bir uygulama olduğunu göstermektedir.

Son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte sanal gerçeklik uygulamaları, interaktif robotlar ve dijital dikkat dağıtma yöntemleri perioperatif anksiyete yönetiminde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak bu uygulamalar; yüksek maliyet, teknik ekipman gereksinimi ve eğitim ihtiyacı nedeniyle her sağlık kurumunda uygulanamamaktadır (Lattré ve ark., 2025). Buna karşılık müzik terapi; ekonomik, erişilebilir ve hemşirelik bakımına kolaylıkla entegre edilebilen bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Özellikle intraoperatif dönemde uygulanan müzik terapinin, hastaların dikkatini ameliyat ortamından uzaklaştırarak daha sakin bir cerrahi deneyim yaşamalarına katkı sağladığı belirtilmektedir.

Literatürde müzik terapinin ameliyat öncesi, intraoperatif ve postoperatif süreçlerde kullanımına ilişkin çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, özellikle ameliyat öncesi ve intraoperatif dönemde hastaların anksiyete düzeyi üzerindeki etkilerini bütüncül olarak değerlendiren güncel derleme çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda bu

derleme çalışmada, ameliyat öncesi ve intraoperatif dönemde uygulanan müzik terapinin hastalarda anksiyete üzerine etkisinin güncel literatür doğrultusunda incelenmesi amaçlanmıştır.

2.CERRAHİ SÜREÇTE ANKSİYETE VE HASTAYA ETKİLERİ

Cerrahi girişimler, bireylerde yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda psikolojik stres oluşturan önemli yaşam olayları arasında yer almaktadır. Özellikle ameliyat öncesi dönemde hastalar; ölüm korkusu, anestezi alma endişesi, ağrı yaşayacağı düşüncesi, bilinmezlik hissi, beden imajında değişiklik korkusu ve ameliyat sonrası komplikasyon gelişme olasılığı gibi nedenlerle yoğun kaygı yaşayabilmektedir (Topal ve ark., 2024). Yapılan çalışmalarda preoperatif anksiyetenin cerrahi hastalarının büyük çoğunluğunda görüldüğü ve kadın cinsiyet, daha önce olumsuz cerrahi deneyim yaşama, yetersiz bilgi düzeyi ve kötü uyku kalitesi gibi faktörlerin kaygıyı artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca hastaların ameliyat süreci hakkında yeterli bilgiye sahip olmamalarının anksiyete düzeyini belirgin şekilde yükselttiği bildirilmektedir (Krupic ve ark., 2025).

Ameliyat öncesi kaygının cerrahi sonuçlar üzerindeki etkisi, son birkaç on yıldır tıp camiasında giderek artan bir ilgi konusu olmuştur. Birçok çalışma, ameliyat öncesi artan kaygı düzeylerinin; artan ağrı algısı, daha yüksek anestezi gereksinimi ve uzamış iyileşme süreleri de dâhil olmak üzere çeşitli olumsuz sonuçlarla ilişkili olabileceğini göstermektedir. Ayrıca ameliyat öncesi kaygının, postoperatif deliryum ve kardiyak olaylar gibi daha ciddi komplikasyonlarla ilişkili olduğuna dair kanıtlar da bulunmaktadır (Ni ve ark., 2023).

Cerrahi süreçte gelişen anksiyete, hastalarda çeşitli fizyolojik ve psikolojik etkilere neden olmaktadır. Anksiyete sırasında sempatik sinir sistemi aktive olmakta; kalp atım hızında artış, kan basıncında yükselme, solunum hızında artış ve kortizol düzeyinde yükselme gibi fizyolojik yanıtlar ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında yüksek anksiyete düzeyinin anestezi ilaç gereksinimini artırabildiği, ekstübasyon süresini uzatabildiği ve iyileşme sürecini olumsuz etkileyebildiği bildirilmektedir (Ni ve ark., 2023). Psikolojik açıdan ise hastalarda korku, çaresizlik, kontrol kaybı hissi, uyku bozuklukları ve ameliyat sonrası döneme ilişkin olumsuz düşünceler görülebilmektedir. Yapılan sistematik derlemelerde preoperatif anksiyetenin cerrahi sonuçları ve hasta iyileşmesini olumsuz etkileyebileceği vurgulanmıştır (Shebl ve ark., 2025).

İntraoperatif dönemde ise anksiyete önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. İntraoperatif anksiyetenin etiyolojisi çok faktörlü olup bireysel, cerrahi ve çevresel faktörlerin etkileşimi sonucu gelişmektedir. Hastaların ameliyat sürecine ilişkin bilgi eksikliği, belirsizlikler, ağrı duyma korkusu, anestezi sırasında uyanma endişesi ve ameliyatın başarısız olacağı düşüncesi anksiyete düzeyini artırmaktadır (Aust ve ark., 2018). Kadın cinsiyet, genç yaş, düşük eğitim düzeyi, daha önce cerrahi deneyimin bulunmaması, kronik hastalık varlığı ve olumsuz sağlık deneyimleri de anksiyete gelişimine katkı sağlamaktadır (Erkilic ve ark., 2017). Ayrıca cerrahi girişimin kapsamının geniş olması, ameliyat süresinin uzunluğu ve ameliyathane ortamındaki gürültü, teknik ekipmanlar ile yabancı çevre koşulları hastalarda stres yanıtını artırarak anksiyete düzeyini yükseltebilmektedir (Gürsoy, 2016; Li ve ark., 2025).

Cerrahi süreçte gelişen anksiyetenin kontrol altına alınması, hasta güvenliği ve bakım kalitesinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle hemşirelerin perioperatif

dönemde hastaların anksiyete düzeylerini değerlendirmesi, etkili iletişim kurması, hastaya yeterli bilgi sağlaması ve uygun nonfarmakolojik girişimleri uygulaması önerilmektedir. Özellikle terapötik iletişim, gevşeme egzersizleri, müzik terapi ve hasta eğitimi gibi uygulamaların anksiyete düzeyini azaltarak hastaların cerrahi sürece daha iyi uyum sağlamasına katkıda bulunduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte anksiyetenin etkin yönetimi; ağrı kontrolünün iyileştirilmesi, hasta memnuniyetinin artırılması ve postoperatif iyileşmenin desteklenmesi açısından da önemli bir yere sahiptir (Parr ve Hu, 2025; Shebl ve ark., 2025).

3.Ameliyat Öncesi ve Sırasında Müzik Terapisinin Anksiyete Üzerine Etkileri

Müzik terapi, cerrahi süreçte hastaların anksiyete düzeyini azaltmak amacıyla kullanılan etkili nonfarmakolojik yöntemlerden biridir. Kolay uygulanabilir, düşük maliyetli ve yan etkisinin bulunmaması nedeniyle son yıllarda perioperatif bakımda kullanımına yönelik ilgi artmıştır. Yapılan çalışmalarda müzik terapinin hastalarda gevşeme sağlayarak kalp atım hızı, kan basıncı ve kortizol düzeyleri gibi stres göstergelerini azaltabildiği bildirilmektedir. Ayrıca müzik uygulamalarının ameliyat öncesi korku ve kaygıyı azaltabildiği, ağrı algısını hafifletebildiği ve hasta konforunu artırabildiği belirtilmektedir (Thoma ve ark., 2013; Saskovets ve ark., 2025).

Perioperatif dönemde kullanılan müzik türü, uygulama süresi ve hastanın bireysel tercihleri, müzik terapinin etkinliğini etkileyebilmektedir. Bazı çalışmalarda klasik müzik, doğa sesleri ve yavaş tempolu rahatlatıcı müziklerin gevşeme üzerinde daha etkili olduğu belirtilirken, bazı araştırmalarda hastanın kendi seçtiği müziğin anksiyeteyi azaltmada daha başarılı olduğu bildirilmektedir (Akelma ve ark., 2024). Bununla birlikte literatürde yer alan çalışmaların büyük çoğunluğu, müzik terapinin cerrahi hastalarda anksiyete yönetiminde olumlu sonuçlar sağladığını göstermektedir.

Ameliyat öncesi ve intraoperatif dönemde uygulanan müzik terapisinin hastaların anksiyete düzeyi üzerindeki etkisini inceleyen ulusal ve uluslararası çalışmalar aşağıdaki çizelge 1 de özetlenmiştir.

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Cerrahi süreçte gelişen anksiyete, hastaların fizyolojik ve psikolojik durumlarını olumsuz etkileyerek cerrahi sonuçlar üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle ameliyat öncesi ve intraoperatif dönemde görülen yüksek anksiyete düzeyinin; kalp atım hızı ve kan basıncında artış, ağrı algısında yükselme, anestezi ilaç gereksiniminde artış ve iyileşme sürecinde gecikme gibi olumsuz sonuçlara neden olabildiği bildirilmektedir (Ni ve ark., 2023; Shebl ve ark., 2025).

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, perioperatif dönemde uygulanan müzik terapinin hastaların anksiyete düzeylerini azaltmada etkili, güvenli ve düşük maliyetli bir nonfarmakolojik yöntem olduğu görülmektedir. Özellikle hastaların kendi tercih ettiği müziklerin kullanıldığı uygulamalarda anksiyete kontrolünün daha başarılı olduğu, hasta memnuniyetini artırdığı ve hemodinamik parametreler üzerinde olumlu etkiler sağladığı belirtilmektedir (Akelma ve ark., 2024; Reynaud ve ark., 2021). Bununla birlikte klasik müzik, doğa sesleri ve Türk müziği makamlarının da gevşeme ve rahatlama üzerinde olumlu etkileri olduğu bildirilmektedir (Horasanlı ve ark., 2022; Güney ve ark., 2024).

Müzik terapinin kolay uygulanabilir, noninvaziv ve yan etkisinin bulunmayan bir yöntem olması nedeniyle hemşirelik bakımında bütüncül yaklaşımın önemli bir parçası olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bazı çalışmalarda müzik terapinin sedatif ilaç gereksinimini azalttığı, hasta konforunu artırdığı ve cerrahi deneyimin daha olumlu algılanmasına katkı sağladığı vurgulanmaktadır (Shukla ve ark., 2024; Hepp ve ark., 2018). Bu doğrultuda perioperatif dönemde müzik terapinin standart hemşirelik bakım protokollerine dâhil edilmesi önerilmektedir. Uygulama sürecinde hastaların bireysel müzik tercihlerinin dikkate alınması, uygun müzik türünün seçilmesi ve uygulama süresinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Ayrıca farklı cerrahi girişimlerde ve farklı hasta gruplarında müzik terapinin etkinliğini değerlendiren randomize kontrollü çalışmaların artırılması, uygulamanın klinik kullanımına yönelik kanıt düzeyinin güçlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Bunun yanında sağlık profesyonellerinin nonfarmakolojik yöntemler konusunda bilinçlendirilmesi ve müzik terapinin perioperatif bakım sürecine entegrasyonunun desteklenmesi önerilmektedir.

Çizelge 1. Ameliyat Öncesi Ve Sırasında Uygulanan Müzik Terapinin Hastalarda Anksiyete Üzerine Etkisini İnceleyen çalışmalar

YAZAR-YIL	ÖRNEKLEM	YÖNTEM VE SONUÇ
Yiğit ve ark.(2021)	Spinal anestezi altında diz protez ameliyat olan 90 hasta	Ameliyat sırasında hastaların seçtiği müzikler (mistik müzik, Türk halk müziği, rahatlatıcı müzik vb.) kulaklıkla dinletildi; anksiyete azaldı ve hasta memnuniyeti arttı
Öztürk (2025)	75 katarakt cerrahisi hastası	Ameliyat sırasında klasik Türk müziği makamlarından oluşan enstrümantal müzik uygulanmış; anksiyete ve ağrı azalmış, fizyolojik parametreler olumlu etkilenmiştir.
Akelma ve ark.(2024)	Kasık fıtığı ameliyatı olacak 255 hasta	Ameliyat öncesi dönemde kulaklıkla klasik müzik veya hasta tercihlili müzik dinletilmiş; hasta tercihlili müzik anksiyeteyi daha fazla azaltmış ve iyileşme kalitesini artırmıştır.
Horasanlı ve ark.(2022)	Sezaryen ameliyatı geçirecek 60 gebe	Ameliyat öncesi dönemde kulaklıkla sufi makamı müziği dinletilmiş; anksiyete azalmış ve operasyon konforu artmıştır.
Reynaud ve ark.(2021)	171 jinekolojik cerrahi hastası	Ameliyat öncesi dönemde hasta seçimi veya önceden belirlenmiş rahatlatıcı müzik uygulanmış; her iki yöntemde de anksiyete azalmış, gruplar arasında fark bulunmamıştır.
Güney ve ark.(2024)	120 sezaryen ameliyatı geçirecek gebe	Ameliyat öncesi dönemde Hicaz, Neva ve Acemaşiran makamlarında enstrümantal müzik dinletilmiş; cerrahi korku ve anksiyete azalmıştır.
Hepp ve ark.(2018)	304 sezaryen ameliyatı geçirecek gebe	Ameliyat sırası dönemde kulaklıkla hastaların tercih ettiği rahatlatıcı müzikler dinletilmiş; anksiyete ve stres azalmış, cerrahi deneyim olumlu etkilenmiştir.
Nouri ve ark.(2025)	102 genel cerrahi hastası	Ameliyat öncesi dönemde geleneksel vokal ve enstrümantal müzik dinletilmiş; her iki müzik türü anksiyeteyi azaltmış,

		enstrümantal müzik daha etkili bulunmuştur.
Shukla ve ark.(2024)	Spinal anestezi altında alt ekstremitte ortopedik cerrahisi geçiren 92 hasta	Ameliyat sırası dönemde kulaklıkla hastaların tercih ettiği müzikler dinletilmiş; anksiyete ve stres azalmış, sedatif gereksinimi düşmüştür.
Demirci ve ark.(2023)	Lokal/rejyonal anestezi altında ortopedik cerrahi geçiren 50 hasta	Ameliyat sırası dönemde video gözlüğü veya hasta tercihlili müzik uygulanmış; her iki yöntem anksiyeteyi azaltmış, müzik uygulaması daha etkili bulunmuştur

KAYNAKÇA

Akelma, F.K., Altınsoy, S., Nalbant, B., Özkan, D., Ergil, J. Comparison of Classical and Patient-Preferred Music on Anxiety and Recovery After Inguinal Hernia Repair: A Prospective Randomized Controlled Study, *Perioperative Medicine*, 13,89, 2024.

Aust, H., Eberhart, L., Sturm, T., Schuster, M., Nestoriuc, Y., Brehm, F., Rüsch, D. A Cross-Sectional Study on Preoperative Anxiety in Adults, *Journal of Psychosomatic Research*, 111,133–139, 2018.

Bello, C.M., Eisler, P., Heidegger, T. Preoperative Anxiety: Current Status and Future Perspectives, *Journal of Clinical Medicine*, 14,1422, 2025.

Çelik, S., Köse Çetinalp, B., Altıntaş, S., Karahan, E. Ameliyat Sonrası Ağrı Tedavisinde Cerrahi Hemşirelerinin İş Yükünün Farmakolojik Olmayan Yöntemlerin Kullanımına Etkisi, *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 17,351–361, 2024.

Demirci, H., van der Storm, S.L., Huizing, N.J., Fräser, M., Stufkens, S.A., Krips, R., Kerkhoffs, G.M.M., Barsom, E.Z., Schijven, M.P. Watching a Movie or Listening to Music is Effective in Managing Perioperative Anxiety and Pain: A Randomised Controlled Trial, *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 31,6069–6079, 2023.

Eriç Horasanlı, J., Demirbaş, N. Sezaryen Doğum Sırasında Müzik Müdahalesinin Annenin Kaygı Düzeyi Üzerindeki Etkileri: Rastgele Kontrollü Bir Çalışma, *Klinik Uygulama ve Araştırma Dergisi*, 44,257–262, 2022.

Guetin, S., Brun, L., Meriadec, C., Camus, E., Deniaud, M., Thayer, J.F., Williams, D.P. A Smartphone-Based Music Intervention to Reduce Pain and Anxiety in Women Before or During Labor, *European Journal of Integrative Medicine*, 21, 24–26, 2018.

Guney, D., Ertekin Pinar, S. Effects of Planned Training and Music Listened to Before a Cesarean Section on Surgical Fear, Anxiety and Depression: A Randomized Controlled Trial, *Current Psychology*, 2024.

Hepp, P., Hagenbeck, C., Gilles, J., Wolf, O.T., Goertz, W., Janni, W., Balan, P., Fleisch, M., Fehm, T., Schaal, N.K. Effects of Music Intervention During Caesarean Delivery on Anxiety and Stress of the Mother: A Controlled, Randomised Study, *BMC Pregnancy and Childbirth*, 18,435, 2018.

Kisielevska, W., Kościółek, M., Kowalczyk, W., Mitura, B., Mitura, L., Rogula, S., Leszczyński, P., Antosik, K., Mitura, K. Reduction of Preoperative Anxiety in Patients with Modern Multimodal Approaches: A Narrative Review, *Journal of Clinical Medicine*, 14,2940, 2025.

Kok, L., Slooter, A.J., Hillegers, M.H., van Dijk, D., Veldhuijzen, D. Benzodiazepine Use and Neuropsychiatric Outcomes in the ICU: A Systematic Review, *Critical Care Medicine*, 46,1673–1680, 2018.

Köse, M., Nalbant, B., Kavak Akelma, F. Anxiolytic Effect of Virtual Reality Headset in Upper Extremity Surgery: A Prospective Randomized Trial, *BMC Surgery*, 26,87, 2026.

Krupic, F., Krupic, M., Dervisevic, E., Kovacevic, M., Bujakovic, T. Preoperative Information as Predictor of the Patient's Fear and Anxiety Before Surgery: Systematic Review of Qualitative and Quantitative Literature, *Saudi Journal of Anaesthesia*, 19,487–493, 2025.

Lattré, T., Brutus, J.P., Decramer, A. Global Survey on Perioperative Immersive Virtual Reality for Patient Distraction in Hand Surgery, *Hand Surgery and Rehabilitation*, 2025.

Li, X., Li, J., Xu, Z., Shang, Y., Shi, H. Effects of Operating Room Noise on Patient Outcomes and Medical Staff: A Systematic Review, *Noise & Health*, 27,246–254, 2025.

Ligree, N., Nanda, S., Morwal, S., Garg, K. Effect of Binaural Beat Music and Noise Cancelling Headphones on Intraoperative Anxiety in Patients Undergoing Spinal Anaesthesia: A Randomised Controlled Study, *Indian Journal of Anaesthesia*, 67,7, 590, 2023.

Madsen, B.K., Zetner, D., Møller, A.M., Rosenberg, J. Melatonin for Preoperative and Postoperative Anxiety in Adults, *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12,CD009861, 2020.

Narayanan, A., Gray, A.R. First, Do No Harmony: An Examination of Attitudes to Music Played in Operating Theatres, *The New Zealand Medical Journal*, 131,1480, 68–74, 2018.

Ni, K., Zhu, J., Ma, Z. Preoperative Anxiety and Postoperative Adverse Events: A Narrative Overview, *Anesthesiology and Perioperative Science*, 1,23, 2023.

Nouri, M.A., Rezaei, M., Khatony, A. Comparison of the Effects of Vocal and Instrumental Traditional Music on Anxiety in Candidates for General Surgery: A Randomized Controlled Clinical Trial, *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 25,364, 2025.

Öztürk, F. Katarakt Cerrahisi Sırasında Müzik Dinletisi ve Stres Topu Uygulamasının Ağrı, Anksiyete ve Fizyolojik Parametreler Üzerine Etkisinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2025.

Parr, H., Hu, J. Music Interventions to Reduce Anxiety and Pain in Surgical Patients: An Umbrella Review, *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, 40,1316–1324, 2025.

Pourmohammad, R., Nasiri-Formi, E., Parvizi, A., Shouri Bidgol, A., Haddadi, S., Akbari, H. Comparative Effects of Lavender Aromatherapy and Nature Sounds on Anxiety and Pain in Cataract Surgery Patients: A Randomized Controlled Trial, *Journal of Integrative and Complementary Medicine*, 32,174–181, 2026.

Rahmati, H., Seidi, J., Ghodsbin, F., Rahimi, S., Gholamvaisi, B. The Effect of Music Therapy on Anxiety in Patients Before Elective General Surgery, *International Journal of Pharmaceutical Research*, 10,3, 136–142, 2018.

Reynaud, D., Bouscaren, N., Lenclume, V., Boukerrou, M. Comparing the Effects of Self-Selected Music Versus Predetermined Music on Patient Anxiety Prior to Gynaecological Surgery: The MUANX Randomized Controlled Trial, *Trials*, 22,535, 2021.

Saskovets, M., Saponkova, I., Liang, Z. Effects of Sound Interventions on the Mental Stress Response in Adults: Scoping Review, *JMIR Mental Health*, 12,e69120, 2025.

Shebl, M.A., Toraih, E., Shebl, M., Tolba, A.M., Ahmed, P., Banga, H.S., Orz, M., Tammam, M., Saadalla, K., Elsayed, M., Kamal, M., Abdulla, M., Eldessouky, A.I., Moustafa, Y.T., Mohamed, O.A., Aiash, H. Preoperative Anxiety and Its Impact on Surgical Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis, *Journal of Clinical and Translational Science*, 9,e33, 2025.

Shukla, U., Yadav, U., Kannan, T.K., Yadav, J.B.S. Effect of Music Therapy on Anxiety, Stress and Sedative Requirements in Patients Undergoing Lower Limb Orthopedic Surgery Under Spinal Anesthesia: A Randomized Controlled Study, *Cureus*, 16,e73809, 2024.

Thoma, M.V., La Marca, R., Brönnimann, R., Finkel, L., Ehlert, U., Nater, U.M. The Effect of Music on the Human Stress Response, *PLoS ONE*, 8,e70156, 2013.

Topal Hançer, A., Erturhan Türk, K. Determination of Preoperative Anxiety Levels and Affecting Factors in Patients Undergoing Elective Surgery: A Descriptive and Cross-Sectional Study, *Türkiye Klinikleri Journal of Nursing Sciences*, 16,1, 2024.

Topcu, S.Y., Semerci, R., Akgün Kostak, M., Güray, Ö., Sert, S., Yavuz, G. The Effect of an Interactive Robot on Children's Post-Operative Anxiety, Mobilization, and Parents' Satisfaction: Randomized Controlled Study, *Journal of Pediatric Nursing*, 68,e50–e57, 2023.

Yigit, U., Ilce, A., Karagoz, I. The Effect of Music Therapy on Pain, Anxiety and Vital Signs in Patients Undergoing Spinal Anaesthesia: A Randomized Controlled Trial, *Turkish Journal of Science and Health*, 2,35–44, 2021.

ASSESSMENT OF NUTRITIONAL QUALITY IN OLDER INDIVIDUALS (HEI-2015) AND DETERMINING SOCIODEMOGRAPHIC FACTORS: PRIMARY CARE EXPERIENCE

Uzm. Dr., ZEHRA SALTİKALP SERT

İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü, Bağcılar Sancaktepe Sağlıklı Hayat Merkezi
zsaltikalp@gmail.com– 0009-0002-0069-4949

Uzm. Dyt., NAGİHAN ARI

İstanbul İl Sağlık Müdürlüğü, Bağcılar Sancaktepe Sağlıklı Hayat Merkezi
nagihanari7@gmail.com – 0009-0002-3950-9982

ABSTRACT

Aim: This study aims to evaluate the nutritional quality of older adults who consult a primary care health facility and to investigate the relationship between nutritional quality and sociodemographic characteristics, lifestyle factors, and anthropometric measurements.

Materials and Methods: The research is a cross-sectional study conducted with 105 individuals aged 65 and older attending a Healthy Life Center in Istanbul. Data were collected through face-to-face interviews, with questions asked under the supervision of the researchers. Participants' sociodemographic characteristics, lifestyle habits, and 24-hour food consumption records were assessed. Nutritional quality was calculated using the HEI-2015, and the risk of malnutrition was determined by the Mini Nutritional Assessment (MNA) test. Anthropometric measurements were taken using standard methods. Statistical analyses included Mann–Whitney U, Kruskal–Wallis, chi-square, Spearman correlation, and multiple linear regression analyses. A significance level of $p < 0.05$ was accepted.

Result: The average age of the participants was 69.6 ± 4.5 years, with 61.9% being female. The mean HEI-2015 score was found to be 58.22 ± 12.19 . It was observed that 31.4% of the individuals had a low level of nutritional quality, 67.6% were in need of improvement, and only 1% had good nutritional quality. Participants engaging in regular physical activity had higher HEI-2015 scores ($p = 0.025$). A significant negative relationship was found between waist circumference and the HEI-2015 score ($r = -0.227$; $p = 0.020$), and waist circumference was identified as an independent determinant in regression analysis ($\beta = -0.413$; $p = 0.034$). No significant relationship was found between the MNA score and the HEI-2015 ($p > 0.05$).

Conclusion: The results of the research indicate that a significant portion of older adults have inadequate nutritional quality that needs improvement. In this context, the level of physical activity and waist circumference, as an indicator of abdominal obesity, are key factors directly related to nutritional quality. Therefore, it is of great importance to carry out regular nutritional screenings for older adults in primary health care services and to plan holistic interventions that support physical activities. This approach will be a critical step in improving their overall health status and enhancing their quality of life. Future prospective and multicenter studies will be

able to illuminate the causal aspects of these relationships and the effectiveness of interventions more comprehensively.

Keywords: Aging, HEI-2015, nutritional quality, primary health care, malnutrition

1. INTRODUCTION

According to the World Health Organization (WHO), the global elderly population is rapidly increasing every year. The group aged 60 and over, which numbered approximately 1 billion in 2020, is expected to reach 1.4 billion by 2030[1]. According to the Turkish Statistical Institute (TÜİK) 2024 data, the population aged 65 and over increased by 20.7% in the last five years, reaching 9,112,298 people and constituting 10.6% of the total population[2]. Based on this data, it is predicted that this rate will rise to 17.9% in 2040 and to 27% in 2060[2].

Factors such as metabolic slowdown, polypharmacy, functional losses, and social isolation associated with aging negatively affect the quality of individuals' diets; inadequate or unbalanced nutrition increases the burden of chronic diseases, weakens functional independence, and reduces quality of life[3, 4].

The Healthy Eating Index-2015 (HEI-2015) is a validated dietary assessment tool comprising 13 components that evaluates overall diet quality by measuring adherence to the recommendations outlined in the Dietary Guidelines for Americans. The index generates a total score ranging from 0 to 100, with higher scores indicating greater conformity to recommended dietary patterns[5]. Previous research has demonstrated that lower HEI-2015 scores are associated with an increased likelihood of limitations in activities of daily living, higher levels of depressive symptoms, and a greater risk of chronic diseases[6,7]. However, studies investigating the sociodemographic determinants of diet quality among older adults, particularly those conducted within the context of primary healthcare services, remain limited[8,9].

The aim of this study was to comprehensively assess diet quality among older adults using the Healthy Eating Index-2015 (HEI-2015), to examine its associations with sociodemographic characteristics, lifestyle factors, anthropometric measurements, and metabolic parameters, and to identify independent determinants of diet quality. Furthermore, the study seeks to contribute to the identification of at-risk groups within primary healthcare settings and to support the development of targeted preventive and health-promoting interventions.

This study is distinguished by its evaluation of diet quality among older adults using the Healthy Eating Index-2015 (HEI-2015), a comprehensive and internationally validated measure, within the context of primary healthcare services. In addition, the multidimensional examination of diet quality in relation to sociodemographic characteristics, lifestyle factors, and clinical parameters provides valuable insight into the identification of at-risk groups and supports the planning of feasible, targeted interventions in primary care settings.

The findings of this study are expected to contribute to the planning of preventive and health-promoting services at both the individual and population levels through the combined assessment of diet quality using the Healthy Eating Index-2015 (HEI-2015) and malnutrition risk using the Mini Nutritional Assessment (MNA). Furthermore, the study is anticipated to provide scientific evidence for the identification of targeted nutritional interventions applicable in primary healthcare settings, facilitate the early recognition of at-risk groups, and support evidence-based policy development aimed at improving older adult health.

2. METHODS

This study is a cross-sectional research conducted with individuals aged 65 and over who applied to a Healthy Living Center in Istanbul between May and July 2026. A total of 105 mentally competent individuals who gave their voluntary consent and could be communicated with were included in the study. The sample size was calculated based on a moderate correlation size ($r=0.30$), a 5% significance level, and 80% statistical power; it was increased by 20% to account for potential losses, resulting in a minimum of 101 individuals.

Sociodemographic characteristics (age, gender, education, marital status, economic status), lifestyle characteristics (physical activity, smoking/alcohol use, cohabitants) and 24-hour food consumption record were applied to the participants by face-to-face survey method. Food consumption data were converted to HEI-2015 score; This index is scored between 0 and 100, with a higher score reflecting better nutritional quality [5]. The risk of malnutrition was assessed using the Mini Nutritional Assessment (MNA) test, which has proven validity and reliability. Anthropometric measurements (height, weight, waist circumference, body fat percentage, upper mid-arm circumference) were taken according to standard protocols; BMI was calculated. Routine biochemical parameters (fasting blood glucose, HbA1c, total cholesterol, HDL, LDL, triglycerides, AST, ALT) were obtained from medical records.

Data analysis was carried out using IBM SPSS Statistics 26.0 program. Shapiro-Wilk test was applied to test the normality assumption. Mann-Whitney U and Kruskal-Wallis tests were used in intergroup comparisons, taking into account distribution and group size imbalances. The chi-square test was used for categorical variables, and the Spearman correlation coefficient was applied to evaluate the relationship between variables. Multivariate linear regression analysis was performed to determine the independent factors affecting the HEI-2015 score. The statistical significance threshold was accepted as $p<0.05$.

3. RESULTS

105 individuals (F: 61.9%; M: 38.1%) between the ages of 65 and 81 were included in the study; The average age was observed as 69.6 ± 4.5 years. Descriptive features of the study are shown in Table 1.

Table 1. Sample Characteristics and Descriptive Statistics

Demographics	n(%)	Min-Max
Age (years)	69,6 ± 4,5	65 – 81
Female	65 (%61,9)	—
Male	40 (%38,1)	—
Married	67 (%63,8)	—
Widowed/Divorced	38 (%36,2)	—
Retired	54 (%51,4)	—
Primary school	59 (%56,2)	—
Anthropometric		
BMI(kg/m ²)	34,18 ± 5,87	—
Waist circumference	104,9 ± 11,0	—
Body fat %	42,9 ± 8,8	—
Nutritional Status		
HEI-2015 score	58,22 ± 12,19	30 – 82
Poor (<50 puan)	33 (%31,4)	—
Needs improvement (50–80)	71 (%67,6)	—
Good (>80 puan)	1 (%1,0)	—
MNA – Normally	86 (%81,9)	—
MNA – At risk	17 (%16,2)	—
MNA – Malnutrition	2 (%1,9)	—

Mean ± SD for continuous variables.

HEI-2015 score: The HEI-2015 score of the participants was found to be 58.22 ± 12.19 (median: 60.0; min: 30 – max: 82). 31.4% (n=33) of the participants were in the "bad" (<50 points) category, and 67.6% (n=71) were in the "needs improvement" category (50–80 points);

only 1 individual (1.0%) achieved good diet quality (>80 points). The findings are shown in Table 2.

Table 2. Comparison of HEI-2015 Scores by Sociodemographic Variables

Variable	n	HEI-2015 Mean ± SD	Test Statistic	p
Sex (Mann-Whitney U)				
Female	65	57,92 ± 12,51	U = 1254,5	0,766
Male	40	58,70 ± 11,80		
Marital Status (Mann-Whitney U)				
Married	67	58,61 ± 12,19	H = 0,290	0,591
Boşanmış	38	57,53 ± 12,33		
Education Level (Kruskal-Wallis)				
Illiterate	6	54,33 ± 13,35	H = 5,642	0,343
Literate (<i>no formal education</i>)	10	54,00 ± 9,98		
Primary	59	57,32 ± 13,28		
Middle school	9	64,22 ± 10,85		
High school	17	61,65 ± 9,29		
University	4	59,75 ± 9,50		
Physical Activity (Kruskal-Wallis)				
Regular	68	60,00 ± 12,35	H = 5,020	0,025 *
Rarely	35	54,31 ± 11,25		
No	1	72,00		
Economic Status (Kruskal-Wallis)				
Very poor / Poor	16	58,19 ± 11,66	H = 4,816	0,307
Moderate	58	58,74 ± 12,33		

Good / Very good	31	56,68 ± 12,01		
MNA Status (Mann-Whitney U)				
Normally	86	57,95 ± 11,84	U = 668,5	0,581
At risk	17	59,71 ± 14,59		
Chronic Disease (Mann-Whitney U)				
No disease	14	57,14 ± 9,21	U = 573,0	0,549
With disease	91	58,38 ± 12,62		

* $p < 0.05$ (red). Statistical significance threshold is $p < 0.05$.

MNA: 81.9% (n=86) of participants were in a normal nutritional status, 16.2% (n=17) were at risk of malnutrition, and 1.9% (n=2) were at a malnutrition level. No significant relationship was found between MNA and HEI-2015 ($p=0.581$). The findings are shown in Table 3.

Table 3. Spearman Correlations Between HEI-2015 and Continuous Variables (n=105)

Variable	Spearman r	p	Interpretation
Waist circumference	-0,227	0,020 *	Significant
Age (years)	-0,161	0,100	NS
Katz ADL Score	0,156	0,111	NS
Yesavage (Depression)	-0,139	0,158	NS
FRAIL Score	-0,119	0,226	NS
Body fat %	-0,117	0,235	NS
FIND Score	-0,117	0,236	NS
Cholesterol	0,098	0,319	NS
Physical Activity min/month	0,091	0,355	NS
BMI	-0,091	0,355	NS

LDL Cholesterol	0,089	0,368	NS
HbA1c (%)	−0,079	0,423	NS
Fasting glucose	−0,040	0,682	NS
HDL Cholesterol	0,037	0,706	NS
Triglycerides	−0,036	0,715	NS
Lawton IADL Score	−0,027	0,785	NS

* $p < 0.05$. NS: not statistically significant.

Sex: There was no significant difference between women and men in terms of HEI-2015 scores (F: 57.92 ± 12.51 ; M: 58.70 ± 11.80 ; $p=0.766$).

Physical activity: Those who exercised regularly had a significantly higher HEI-2015 score (60.00 ± 12.35) than those who rarely exercised (54.31 ± 11.25) (Kruskal-Wallis $H=5.02$, $p=0.025$).

Waist circumference: A negative correlation was found with HEI-2015 (Spearman $r=-0.227$, $p=0.020$); it also remained an independent predictor in multivariate regression ($\beta=-0.413$, $p=0.034$).

Multivariable regression: The model was marginally significant ($F=1.79$, $p=0.080$; $R^2=0.145$). Only waist circumference stood out as an independent predictor ($\beta=-0.413$, $p=0.034$); age was marginally significant ($\beta=-0.547$, $p=0.057$). The findings are shown in Table 4.

Table 4. Independent Predictors of HEI-2015 Score — Multivariable OLS Regression (n=105)

Predictor	B	SE	β (std)	p value	Interpretation
Waist circumference	−0,413	0,192	−0,413	0,034 *	Significant
Age	−0,547	0,284	−0,210	0,057	Marginal
BMI	0,631	0,373	0,304	0,094	NS
Sex	3,857	3,355	0,150	0,253	NS
Education	1,648	1,311	0,147	0,212	NS
Economic status	−1,770	1,730	−0,115	0,309	NS

Physical activity (min/month)	3,252	2,855	0,135	0,258	NS
Yesavage Depression Score	-0,156	0,572	-0,033	0,785	NS
MNA score	-0,485	1,003	-0,060	0,630	NS
The regression model was marginally significant (F(9,95) = 1.790, p = 0.080), explaining 14.5% of the variance in HEI-2015 scores (R² = 0.145; Adjusted R² = 0.064).					

*B: unstandardized coefficient; β : standardized coefficient; SE: standard error. Dependent variable: HEI-2015 total score. * $p < 0.05$.*

4. DISCUSSION

In this study, 24-hour food consumption records of elderly individuals who applied to a primary care facility were collected, and HEI-2015 scores were calculated. It was observed that 1% of the participants had good dietary quality[6,7]. This situation is consistent with studies showing inadequate dietary quality, especially in elderly individuals[7,10]. Studies in the United States have reported HEI scores between 64-66 for individuals over 65 years of age, and the value in our study was below this reference range[7,11]. Furthermore, studies evaluating NHANES (National Health and Nutrition Examination Survey) data indicate that although the quality of diets in older adults is higher than in younger adults, it has not reached optimal levels, and a significant portion falls into the "dietary needs improvement" category[12,13]. Similarly, poor diet quality in older individuals has been shown to be associated with frailty, functional loss, and chronic disease burden[14,15]. In a study conducted in Izmir, Turkey, involving elderly people in a printing house and in the community, the HEI score was reported to be in the range of 42-43, indicating inadequate dietary quality[8].

A significant relationship was found between physical activity and nutritional quality; those who exercised regularly had statistically higher HEI-2015 scores compared to those who rarely exercised ($p=0.025$). This finding is consistent with current literature highlighting that physical activity and nutrition are synergistic components of healthy aging[3]. Previous studies have reported that physically active older individuals consume more fruits, vegetables, and whole grains, and less processed foods[16,17]. It is believed that physically active individuals are more conscious of their overall health behaviors, and this is reflected in their dietary choices.

The negative correlation between waist circumference and HEI-2015 ($r=-0.227$, $p=0.020$) and its role as an independent predictor in multivariate regression ($\beta=-0.413$, $p=0.034$) reveal an association between central obesity and poor nutritional quality. This finding is consistent with previous studies reporting an inverse relationship between HEI-2015 and waist circumference in larger samples[11]. Waist circumference can be considered a simple and applicable nutritional risk indicator in primary care follow-up[14,15].

No significant relationship was found between gender, marital status, education level, economic status, and MNA malnutrition risk with HEI-2015. This finding, contrary to some studies showing that education and socioeconomic status are related to nutritional quality, indicates that these variables are not determinants on their own. The relatively homogeneous distribution of education level in our sample (the vast majority are primary school graduates) may have suppressed the significance of this variable[9]

Strengths: HEI-2015 is calculated based on a 24-hour food intake record; simultaneous application of multiple geriatric assessment tools (MNA, Yesavage, Katz, Lawton, FRAIL, FIND); implementation in a primary care context.

Limitations: Cross-sectional design does not allow for causality establishment. Single-day food intake records may not fully reflect the usual diet. Single-center sampling limits generalizability.

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This study revealed that the vast majority of elderly individuals presenting to primary care facilities had inadequate or in need of improvement in nutritional quality. Physical activity level and waist circumference, an indicator of central obesity, were identified as the most significantly associated variables with the HEI-2015 score. The negative relationship between psychological health and nutritional quality underscores the need for integrated nutritional and psychosocial support.

Based on our findings, the following recommendations are made:

- (1) Routine nutritional screening should be carried out for individuals over 65 years of age in primary care using validated tools such as HEI-2015 or MNA;
- (2) Developing individualized nutritional interventions aimed at increasing physical activity;
- (3) Inclusion of waist circumference as a simple risk indicator in monitoring protocols;
- (4) In elderly individuals exhibiting depressive symptoms, nutritional counseling should be provided concurrently with psychosocial support.

Future prospective and multicenter studies may shed more comprehensive light on the causal dimension of these relationships and the effectiveness of interventions.

REFERENCES

1. World Health Organization. Ageing and Health [Internet]. Geneva: WHO; 2024. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
2. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). İstatistiklerle Yaşlılar, 2024. Ankara: TÜİK; 2025. Available from: <https://www.tuik.gov.tr>
3. Gonçalves DC, de Castro GS. Editorial: Nutrition and quality of life in the elderly. *Front Nutr.* 2024;11:1429245. doi:10.3389/fnut.2024.1429245. PMID: 38966409.
4. Ma H, Wang M, Qin C, et al. Trends in the burden of chronic diseases attributable to diet-related risk factors from 1990 to 2021 and the global projections through 2030: a population-based study. *Front Nutr.* 2025;12:1570321. doi:10.3389/fnut.2025.1570321.
5. Krebs-Smith SM, Pannucci TE, Subar AF, Kirkpatrick SI, Lerman JL, Tooze JA, Wilson MM, Reedy J. Update of the Healthy Eating Index: HEI-2015. *J Acad Nutr Diet.* 2018;118(9):1591–1602. doi:10.1016/j.jand.2018.05.021. PMID: 30146071.
6. Zhao H, Andreyeva T. Diet Quality and Health in Older Americans. *Nutrients.* 2022;14(6):1198. doi:10.3390/nu14061198. PMID: 35334855.
7. Choi YJ, Crimmins EM, Kim JK, Ailshire JA. Food and nutrient intake and diet quality among older Americans. *Public Health Nutr.* 2021;24(3):339–348. doi:10.1017/S1368980021000586. PMID: 33641681.
8. Arslan SA, et al. Comparing nutritional status, quality of life and physical fitness: aging in place versus nursing home residents. *BMC Geriatr.* 2025;25:162. doi:10.1186/s12877-025-05751-w.
9. Lee JE, Kim YJ, Park HJ, Park S, Kim H, Kwon O. Association of recommended food score with depression, anxiety, and quality of life in Korean adults: the 2014–2015 National Fitness Award Project. *BMC Public Health.* 2019;19:956. doi:10.1186/s12889-019-7298-8. PMID: 31315605.
10. Chang YC, Yao G, Hu SC, Wang JD. Depression affects the scores of all facets of the WHOQOL-BREF and may mediate the effects of physical disability among community-dwelling older adults. *PLoS One.* 2015;10(5):e0128356. doi:10.1371/journal.pone.0128356. PMID: 26010571.
11. Pinto de Souza Fernandes D, Duarte MSL, Pessoa MC, Franceschini SDCC, Ribeiro AQ. Evaluation of diet quality of the elderly and associated factors. *Arch Gerontol Geriatr.* 2017 Sep;72:174-180. doi: 10.1016/j.archger.2017.05.006. Epub 2017 May 13. PMID: 28688369.
12. Reedy J, Lerman JL, Krebs-Smith SM, Kirkpatrick SI, Pannucci TE, Wilson MM, Subar AF, Kahle LL, Tooze JA. Evaluation of the Healthy Eating Index-2015. *J Acad Nutr Diet.* 2018 Sep;118(9):1622-1633. doi: 10.1016/j.jand.2018.05.019. Erratum in: *J Acad*

Nutr Diet. 2019 Oct;119(10):1759. doi: 10.1016/j.jand.2019.07.026. PMID: 30146073; PMCID: PMC671895

13. Kirkpatrick SI, Reedy J, Krebs-Smith SM, Pannucci TE, Subar AF, Wilson MM, Lerman JL, Tooze JA. Applications of the Healthy Eating Index for Surveillance, Epidemiology, and Intervention Research: Considerations and Caveats. *J Acad Nutr Diet*. 2018 Sep;118(9):1603-1621. doi: 10.1016/j.jand.2018.05.020. PMID: 30146072; PMCID: PMC6730554.
14. Shikany JM, Safford MM, Newby PK, Durant RW, Brown TM, Judd SE. Southern Dietary Pattern is Associated With Hazard of Acute Coronary Heart Disease in the Reasons for Geographic and Racial Differences in Stroke (REGARDS) Study. *Circulation*. 2015 Sep 1;132(9):804-14. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.014421. Epub 2015 Aug 10. PMID: 26260732; PMCID: PMC4558233.
15. Granic A, Mendonça N, Sayer AA, Hill TR, Davies K, Adamson A, Siervo M, Mathers JC, Jagger C. Low protein intake, muscle strength and physical performance in the very old: The Newcastle 85+ Study. *Clin Nutr*. 2018 Dec;37(6 Pt A):2260-2270. doi: 10.1016/j.clnu.2017.11.005. Epub 2017 Nov 16. PMID: 29191494; PMCID: PMC6295979.
16. Xu F, Cohen SA, Lofgren IE, Greene GW, Delmonico MJ, Greaney ML. Relationship between Diet Quality, Physical Activity and Health-Related Quality of Life in Older Adults: Findings from 2007-2014 National Health and Nutrition Examination Survey. *J Nutr Health Aging*. 2018;22(9):1072-1079. doi: 10.1007/s12603-018-1050-4. PMID: 30379305; PMCID: PMC12275597.
17. Loprinzi PD, Smit E, Mahoney S. Physical activity and dietary behavior in US adults and their combined influence on health. *Mayo Clin Proc*. 2014 Feb;89(2):190-8. doi: 10.1016/j.mayocp.2013.09.018. PMID: 24485132.

AMELİYAT SONRASI AĞRIYI AZALTMAK İÇİN AKUPUNKTUR UYGULAMALARI

Hemşire, Recep MAFRAK

Artvin Çoruh Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi,
recepmafrak21@gmail.com - ORCID ID: 0009-0007-2149-1995

Dr. Öğr. Üyesi, Enes BULUT

Artvin Çoruh Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi,
bulutts61@artvin.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1579-6887

ÖZET

Giriş: Postoperatif ağrı, cerrahi girişim sonrası dönemde iyileşme sürecini etkileyen ve bakımın temel hedefleriyle doğrudan ilişkili olan önemli bir klinik sorundur. (Ljungqvist et al., 2020). Güncel yaklaşım, opioid tüketimini ve buna bağlı advers etkileri azaltmak için opioid-sparing multimodal analjezi stratejilerini ön plana çıkarmaktadır. Ağrı duysal bileşenin yanı sıra bilişsel ve duygusal boyutları da içeren çok boyutlu bir deneyim olduğundan postoperatif dönemde nonfarmakolojik yöntemlerin tamamlayıcı rolünü desteklemektedir. Bu çerçevede akupunktur, multimodal analjezi içinde opioid ihtiyacını azaltmaya katkı sağlayabilecek tamamlayıcı bir nonfarmakolojik yöntem olarak değerlendirilmektedir. (Kehlet, 2023; Dowell et al., 2022)

Amaç: Postoperatif dönemde akupunktur uygulamalarının hastaların ağrı düzeylerine etkilerini inceleyen çalışmalara ilişkin bilgi sunmaktır.

Konunun Literatürü: Akupunktur, postoperatif dönemde ve diğer akut/kronik ağrı durumlarında ağrı şiddetini ve analjezik tüketimini anlamlı düzeyde azaltan etkili bir nonfarmakolojik yöntem olarak literatürde öne çıkmaktadır. (He et al., 2021). Çalışmalar, akupunktur iğnelerinin uyarımının merkezi sinir sisteminde endojen opioid peptidlerin (endorfin, enkefalin ve dinorfin) salınımını tetikleyerek ve inen ağrı inhibitör (baskılayıcı) yollarını aktive ederek güçlü bir nöromodülatör analjezi sağladığını göstermektedir. (Zhang et al., 2022). Bunun yanı sıra, akupunktur uygulamasının lokal ve sistemik düzeyde pro-inflamatuvar sitokinlerin salınımını baskılayarak cerrahi travmaya bağlı inflamatuvar ağrı iletimini azalttığı bildirilmektedir. (Lin et al., 2022). Klinik sonuçları değerlendiren güncel meta-analizler, akupunkturun postoperatif multimodal analjeziye eklenmesinin yalnızca görsel analog skala (VAS) ağrı skorlarını düşürmekle kalmayıp, opioid gereksinimini ve buna bağlı postoperatif bulantı-kusma (PONV) insidansını da belirgin şekilde azalttığını vurgulamaktadır. (Chen et al., 2021)

Sonuç ve Öneriler: Akupunktur tedavisinin postoperatif dönemde ağrı şiddetini ve analjezik tüketimini azalttığını aynı zamanda lokal ve sistemik düzeyde proinflamatuvar sitokinlerin

salınımını baskılayarak cerrahi travmaya bağlı inflamatuvar ağrı iletimini azalttığı görölmüştür. Hasta tercihleri doğrultusunda standart bakım protokollerine dahil edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağrı, Akupunktur, Hemşirelik bakımı, Multimodal analjezi, Nonfarmakolojik yöntemler, Postoperatif ağrı

ACUPUNCTURE APPLICATIONS FOR THE REDUCTION OF POSTOPERATIVE PAIN

ABSTRACT

Introduction: Postoperative pain is a significant clinical issue that impacts the recovery process following surgical intervention and is directly associated with the fundamental objectives of patient care (Ljungqvist et al., 2020). Current approaches emphasize opioid-sparing multimodal analgesia strategies to reduce opioid consumption and its associated adverse effects. As pain constitutes a multidimensional experience encompassing cognitive and emotional dimensions alongside its sensory component, the complementary role of non-pharmacological methods during the postoperative period is supported. Within this framework, acupuncture is considered a complementary non-pharmacological method that may contribute to reducing opioid requirements within a multimodal analgesia regimen (Kehlet, 2023; Dowell et al., 2022).

Aim: The aim is to present information regarding studies examining the effects of acupuncture applications on patients' pain levels in the postoperative period.

Subject literature: Acupuncture has emerged in the literature as an effective non-pharmacological intervention that significantly reduces pain intensity and analgesic consumption in the postoperative period as well as in other acute and chronic pain conditions (He et al., 2021). Studies indicate that stimulation of acupuncture needles triggers the release of endogenous opioid peptides (endorphins, enkephalins, and dynorphins) within the central nervous system and provides potent neuromodulatory analgesia through activation of descending inhibitory pain pathways (Zhang et al., 2022). In addition, acupuncture has been reported to suppress the release of pro-inflammatory cytokines at both local and systemic levels, thereby reducing inflammatory pain transmission associated with surgical trauma (Lin et al., 2022). Recent meta-analyses evaluating clinical outcomes emphasize that incorporating acupuncture into postoperative multimodal analgesia not only lowers Visual Analog Scale (VAS) pain scores but also significantly reduces opioid requirements and the incidence of opioid-related postoperative nausea and vomiting (PONV) (Chen et al., 2021).

Conclusion and Recommendations: Acupuncture therapy has been shown to reduce pain intensity and analgesic consumption in the postoperative period. Moreover, it has been observed to attenuate inflammatory pain transmission associated with surgical trauma by suppressing the release of pro-inflammatory cytokines at both local and systemic levels. Incorporation of acupuncture into standard care protocols is recommended in accordance with patient preferences.

Keywords: Pain, Acupuncture, Nursing care, Multimodal analgesia, Non-pharmacological methods, Postoperative pain

1.GİRİŞ

Cerrahi girişimler, modern tıbbın vazgeçilmez tedavi yöntemleri arasında yer almakla birlikte, beraberinde önemli bir yük olan postoperatif ağrı gelmektedir (Schug & Bruce, 2020). Postoperatif ağrı, cerrahi doku hasarı, inflamatuvar yanıt ve nörojenik sensitizasyon mekanizmalarının bir sonucu olarak ortaya çıkan, akut başlangıçlı ve çok boyutlu bir ağrı deneyimidir (Kehlet, 2020). Uluslararası Ağrı Araştırmaları Derneği (IASP), ağrıyı yalnızca duysal değil; bilişsel, duygusal ve sosyokültürel boyutları olan karmaşık bir deneyim olarak tanımlamaktadır (IASP, 2020). Bu çerçevede postoperatif ağrı, hastanın psikolojik durumunu genel iyilik halini ve fizyolojik fonksiyonlarını doğrudan etkileyen kritik bir klinik sorun olarak değerlendirilmektedir (Ljungqvist et al., 2020). Yetersiz düzeyde kontrol altına alınan postoperatif ağrının; pulmoner komplikasyonlarda artış, mobilizasyonun gecikmesi, hastanede kalış süresinin uzaması, sağlık harcamalarının yükselmesi ve hasta memnuniyetinin azalması ile doğrudan ilişkili olduğu bildirilmektedir (Schug & Bruce, 2020). Bunun yanı sıra akut postoperatif ağrının etkili şekilde yönetilememesinin, kronik postoperatif ağrı gelişimi açısından bağımsız bir risk etkeni olduğu belirtilmektedir (IASP, 2020). Bu olumsuz sonuçlar dikkate alındığında, postoperatif ağrı kontrolü; cerrahi sonrası iyileşmenin hızlandırılması, komplikasyonların önlenmesi ve yaşam kalitesinin artırılması hedeflerini içeren ERAS (Enhanced Recovery After Surgery) protokollerinin temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Ljungqvist et al., 2020).

Postoperatif ağrı tedavisinde tarihsel olarak opioid analjezikler temel seçenek olarak benimsenmiş; ancak zaman içerisinde bu yaklaşımın önemli kısıtlılıkları olduğu anlaşılmıştır (Chou et al., 2021). Günümüzde farmakolojik ağrı yönetimi; opioidlerin yanı sıra nonsteroid antiinflamatuvar ilaçlar (NSAİİ), parasetamol, gabapentinoidler ve rejyonel anestezi uygulamalarını içeren daha kapsamlı bir çerçevede ele alınmaktadır (Chou et al., 2021). Bununla birlikte opioid kullanımı; bulantı, kusma, konstipasyon, belirgin sedasyon, solunum depresyonu ve uzun dönemde bağımlılık gelişme riski gibi ciddi yan etkilerle ilişkilendirilmektedir (Dowell et al., 2022). Söz konusu advers etkiler, özellikle ileri yaş ve ek hastalığı bulunan bireylerde postoperatif sürecin daha karmaşık bir seyir izlemesine neden olabilmektedir (Chou et al., 2021). Opioid gereksinimini azaltmayı amaçlayan multimodal analjezi yaklaşımları geliştirilmiş ve klinik rehberlerde yer almış olsa da, yalnızca farmakolojik tedavilere dayalı uygulamaların ağrının çok boyutlu doğasını bütünüyle karşılamada yetersiz kalabileceği belirtilmektedir (Kehlet, 2023). Nitekim araştırmalar, cerrahi hastalarının kayda değer bir kısmının taburculuk sonrasında da yeterli düzeyde ağrı kontrolüne ulaşamadığını göstermektedir (Dowell et al., 2022). Bu durum, postoperatif ağrı yönetiminde farmakolojik tedavileri destekleyecek güvenli, etkili ve sürdürülebilir tamamlayıcı yöntemlere duyulan gereksinimi ortaya koymaktadır (Kehlet, 2023).

Nonfarmakolojik yöntemler, düşük yan etki riskleri, kolay uygulanabilir olmaları ve hastanın ağrı yönetimine aktif katılımını teşvik etmeleri nedeniyle tamamlayıcı yaklaşımlar arasında giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Tick et al., 2021). Bu kapsamda transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu (TENS), masaj uygulamaları, müzik terapisi, bilişsel davranışçı yöntemler, meditasyon ve akupunktur öne çıkan girişimler arasında yer almaktadır (Mao et al.,

2021). Bu uygulamalar, ağrı algısını azaltmak, anksiyeteyi hafifletmek, hasta konforunu artırmak ve opioid gereksinimini azaltmak amacıyla farmakolojik tedavilere ek olarak kullanılmaktadır (Tick et al., 2021). Hemşirelik perspektifinden bakıldığında, kanıta dayalı nonfarmakolojik girişimlerin klinik ortama entegre edilmesi; bütüncül, hasta odaklı ve etik bakım anlayışını güçlendirmekte ve hemşirenin bağımsız rollerini desteklemektedir (Mao et al., 2021). Dünya Sağlık Örgütü de tamamlayıcı ve nonfarmakolojik yöntemlerin sağlık hizmetlerine entegrasyonunu teşvik eden politikalar geliştirmekte ve bu alandaki bilimsel kanıtların artırılmasını önermektedir (WHO, 2021).

2.AKUPUNKTURUN TARİHÇESİ, ETKİ MEKANİZMASI VE UYGULAMA ÖZELLİKLERİ

2.1.AKUPUNKTURUN TARİHÇESİ

Akupunktur, yaklaşık 2000–3000 yıllık geçmişe sahip olan ve Geleneksel Çin Tıbbı'nın (GÇT) temel tedavi yöntemleri arasında yer alan köklü bir uygulamadır (Zhang et al., 2022). Geleneksel yaklaşıma göre akupunktur, vücutta “Qi” olarak adlandırılan yaşam enerjisinin meridyenler aracılığıyla dengeli biçimde akmasını sağlamayı hedeflemektedir (Lin et al., 2022). 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren akupunktur Batı tıbbında bilimsel incelemelere konu olmuş ve etkileri nörofizyolojik mekanizmalar üzerinden açıklanmaya başlanmıştır (He et al., 2021). Dünya Sağlık Örgütü akupunkture geleneksel ve tamamlayıcı tıp uygulamaları kapsamında değerlendirmekte ve pek çok ülkede sağlık sistemlerine entegrasyonunu desteklemektedir (World Health Organization [WHO], 2021). Günümüzde ise akupunktur, özellikle ağrı yönetiminde multimodal tedavi yaklaşımlarının bir bileşeni olarak klinik uygulamalarda yer bulmaktadır (Tick et al., 2021).

2.2.AKUPUNKTURUN ETKİ MEKANİZMASI

Akupunkturun analjezik etkisi, periferik sinir uçlarının mekanik olarak uyarılmasıyla başlayıp merkezi sinir sistemine kadar uzanan karmaşık nörofizyolojik mekanizmalar aracılığıyla ortaya çıkmaktadır (Zhang et al., 2022). İğne stimülasyonu sonrasında A-delta ve C tipi sinir liflerinin aktive olduğu ve bunun omuriliğin dorsal boynuzunda ağrı iletiminin düzenlenmesine katkı sağladığı bildirilmiştir (He et al., 2021). Bu süreçte endorfin, enkefalin ve dinorfin gibi endojen opioid peptidlerin salınımı artmakta ve inen inhibitör ağrı yolları devreye girmektedir (Zhang et al., 2022). Ayrıca akupunkturun serotonin ve norepinefrin gibi nörotransmitterlerin düzeylerini modüle ederek santral ağrı kontrol mekanizmalarını desteklediği ifade edilmektedir (Lin et al., 2022). Bunun yanında akupunkturun antiinflamatuvar özellikler gösterdiği ve TNF- α , IL-1 β ile IL-6 gibi proinflamatuvar sitokinlerin salınımını baskıladığı belirtilmektedir (Chen et al., 2021). Cerrahi travmaya bağlı gelişen inflamatuvar yanıtın azaltılması, postoperatif ağrı şiddetinin hafifletilmesine katkıda bulunmaktadır (He et al., 2021). Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) araştırmaları, akupunktur uygulamasının limbik sistem ve talamus gibi ağrı işlenmesinde rol oynayan beyin bölgelerinde aktivite değişikliklerine neden olduğunu göstermektedir (Zhang et al., 2022). Tüm bu nörobiyolojik bulgular, akupunkturun hem periferik hem de santral düzeyde analjezik etki oluşturabildiğini ortaya koymaktadır (Lin et al., 2022).

2.3.AKUPUNKTURUN UYGULANMA YOLLARI

Akupunktur çeşitli teknikler aracılığıyla uygulanabilmekte olup tercih edilecek yöntem hastanın klinik gereksinimleri doğrultusunda belirlenmektedir (WHO, 2021). En sık kullanılan yöntem, steril ve tek kullanımlık ince iğnelerin belirlenmiş akupunktur noktalarına yerleştirildiği manuel akupunktur uygulamasıdır (Zhang et al., 2022). Elektroakupunktur tekniğinde ise yerleştirilen iğnelere düşük frekansta elektriksel uyarı verilerek stimülasyonun yoğunluğu ve süresi ayarlanabilmektedir (He et al., 2021). Ayrıca lazer akupunktur, akupresür ve auriküler (kulak) akupunktur gibi invaziv olmayan ya da minimal invaziv özellik taşıyan yöntemler de klinik pratikte yer almaktadır (Tick et al., 2021). Postoperatif süreçte özellikle auriküler akupunktur ve elektroakupunktur uygulamalarının opioid gereksinimini azaltmada etkili olduğu bildirilmektedir (Chen et al., 2021).

2.4.AKUPUNKTUR UYGULAMA BÖLGELERİ

Akupunktur uygulamalarında, Geleneksel Çin Tıbbı'nda tanımlanan meridyen sistemi üzerinde yer alan belirli anatomik noktalar tercih edilmekte ve bu noktaların seçimi cerrahi girişimin tipi, ağrının bulunduğu bölge ve hastanın klinik özellikleri doğrultusunda planlanmaktadır (He et al., 2021). İnsanlarda gerçekleştirilen randomize kontrollü çalışmalar incelendiğinde, postoperatif ağrı kontrolünde en yaygın kullanılan vücut akupunktur noktalarının Hegu (LI4), Zusanli (ST36), Sanyinjiao (SP6) ve Neiguan (PC6) olduğu bildirilmektedir (Wu et al., 2022).

LI4 noktası, elin dorsal yüzünde birinci ve ikinci metakarpal kemikler arasındaki bölgede bulunmakta ve özellikle baş-boyun ile üst ekstremité cerrahileri sonrasında ağrı kontrolü amacıyla sıkça tercih edilmektedir (Chen et al., 2021). ST36 noktası, dizin lateral kısmında, tibial tüberozitenin inferiorunda yer almakta olup abdominal ve ortopedik cerrahiler sonrasında ağrı şiddetinin azaltılması ve gastrointestinal fonksiyonların desteklenmesi açısından etkili olduğu klinik çalışmalarla ortaya konmuştur (He et al., 2021). SP6 noktası, medial malleolün üst kısmında konumlanmakta ve özellikle jinekolojik ile alt abdominal cerrahi girişimler sonrası ağrı yönetiminde kullanılmaktadır (Wu et al., 2022). PC6 noktası ise ön kolun volar yüzünde, el bileği çizgisinin proksimalinde yer almakta ve postoperatif süreçte hem ağrı düzeyinin hem de bulantı ve kusma görülme sıklığının azaltılmasında etkili olduğu gösterilmiştir (Chen et al., 2021).

Auriküler akupunktur uygulamalarında, kulak kepçesi üzerinde yer alan Shenmen, Subkorteks, Point Zero ve sempatik noktalar yaygın olarak tercih edilmekte ve bu noktaların postoperatif ağrı skorlarını düşürdüğü ile opioid gereksinimini anlamlı düzeyde azalttığı randomize kontrollü çalışmalarda gösterilmektedir (Ni et al., 2020). Auriküler akupunkturun noninvaziv bir yöntem olması, uygulama kolaylığı sağlaması ve hastalar tarafından genellikle iyi tolere edilmesi, postoperatif dönemde hemşirelik bakımı kapsamında kullanımını destekleyen önemli özellikler arasında yer almaktadır (Tick et al., 2021).

Klinik uygulamalarda tek bir akupunktur noktası yerine birden fazla noktanın birlikte kullanılması, daha kapsamlı bir analjezik etki elde edilmesi açısından önerilmektedir (He et al., 2021). Sistematik derleme bulguları, akupunktur noktalarının cerrahi alan ve ağrı bölgesine

özgü olarak seçilmesinin ağrı kontrolünde daha yüksek etkinlik sağladığını göstermektedir (Wu et al., 2022). Bu nedenle postoperatif dönemde uygulanacak akupunktur protokolünün cerrahi tipe, ağrı lokalizasyonuna ve hastanın bireysel gereksinimlerine göre kişiselleştirilmesi gerekmektedir (Chen et al., 2021).

3.SONUÇ VE ÖNERİLER

Postoperatif ağrı yönetimi, cerrahi sonrasında iyileşmenin desteklenmesi, komplikasyon oranlarının azaltılması ve hastanın konfor düzeyinin yükseltilmesi açısından multidisipliner bir yaklaşımı gerekli kılmaktadır (Kehlet, 2023). Güncel literatür, yalnızca farmakolojik temelli analjezi protokollerinin ağrının duysal, bilişsel ve duygusal bileşenlerini kapsayan çok boyutlu yapısını yeterince karşılayamayabileceğini ortaya koymaktadır (IASP, 2020). Opioid içerikli tedaviler etkin analjezi sağlamakla birlikte ciddi yan etkiler ve bağımlılık riski barındırdığından, opioid tüketimini azaltmaya yönelik yaklaşımların önemi giderek artmaktadır (Dowell et al., 2022). Bu nedenle multimodal analjezi kapsamında nonfarmakolojik yöntemlerin tedavi planına dahil edilmesi önerilmektedir (Tick et al., 2021).

Akupunktur, postoperatif süreçte ağrı düzeyini azaltma, opioid gereksinimini düşürme ve opioidlere bağlı advers etkileri hafifletme bakımından etkili ve güvenilir bir tamamlayıcı uygulama olarak dikkat çekmektedir (Chen et al., 2021). Sistemik derleme ve meta-analiz bulguları, akupunkturun multimodal analjeziye eklenmesi durumunda görsel analog skala (VAS) ile ölçülen ağrı skorlarında anlamlı azalma sağladığını göstermektedir (Wu et al., 2022). Bunun yanı sıra akupunktur uygulamasının postoperatif bulantı ve kusma sıklığını azaltarak hastanın genel konforunu iyileştirdiği bildirilmektedir (He et al., 2021). Periferik ve santral düzeyde etkili nörofizyolojik ile antiinflamatuvar mekanizmalar üzerinden analjezi sağlaması, akupunkturun bilimsel dayanaklarını güçlendiren önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Zhang et al., 2022).

Hemşirelik perspektifinden ele alındığında, akupunkturun hasta merkezli bakım anlayışıyla örtüşen, bütüncül ve destekleyici bir girişim niteliği taşıdığı değerlendirilmektedir (Mao et al., 2021). Hemşirelerin postoperatif dönemde ağrı değerlendirme sürecinde etkin rol üstlenmeleri ve kanıta dayalı tamamlayıcı tedavi yöntemleri hakkında yeterli bilgiye sahip olmaları, sunulan bakımın niteliğini artırmaktadır (Tick et al., 2021). Bu doğrultuda sağlık kuruluşlarında akupunktur uygulamalarına ilişkin eğitim programlarının planlanması ve hemşirelerin bu alanda yetkinliklerinin geliştirilmesinin teşvik edilmesi önerilmektedir (WHO, 2021).

İlerleyen süreçte gerçekleştirilecek randomize kontrollü çalışmaların, farklı cerrahi girişim türlerinde akupunkturun etkinliğini uzun vadeli klinik sonuçlar açısından incelemesi gerekmektedir (Wu et al., 2022). Bunun yanında, akupunkturun standart postoperatif bakım protokollerine entegrasyonunu sağlayacak klinik rehberlerin hazırlanması, uygulamada standardizasyonun sağlanmasına katkı sunacaktır (Kehlet, 2023). Sonuç olarak akupunktur, postoperatif ağrı yönetiminde opioid gereksiniminin azaltılması, hasta konforunun yükseltilmesi ve bütüncül hemşirelik bakımının desteklenmesi açısından umut vadeden ve

klınık uygulamada yer verilmesi gereken tamamlayıcı bir yöntem olarak değeriendirilmektedir (Chen et al., 2021).

KAYNAKÇA

Chen, X., Zhang, Y., Wang, Y., & Liu, Z. (2021). Acupuncture for postoperative pain relief: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Pain Research*, 14, 2847–2862.

Chen, Y., Wang, J., Lin, Y., & Li, H. (2021). The efficacy and safety of acupuncture for postoperative pain and postoperative nausea and vomiting: A systematic review and meta-analysis. *Pain Research and Management*, 2021, 5553147.

Chou, R., Gordon, D. B., de Leon-Casasola, O. A., Rosenberg, J. M., Bickler, S., Brennan, T., & Wu, C. L. (2021). Management of postoperative pain: A clinical practice guideline from the American Pain Society. *The Journal of Pain*, 22(3), 225–257.
<https://doi.org/10.1016/j.jpain.2020.12.001>

Dowell, D., Ragan, K. R., Jones, C. M., Baldwin, G. T., & Chou, R. (2022). CDC clinical practice guideline for prescribing opioids for pain — United States, 2022. *MMWR Recommendations and Reports*, 71(3), 1–95.
<https://doi.org/10.15585/mmwr.rr7103a1>

He, Y., Guo, X., May, B. H., Zhang, A. L., Liu, Y., Lu, C., & Xue, C. C. (2021). Clinical evidence for association of acupuncture and acupressure with improved cancer pain and quality of life. *JAMA Oncology*, 6(2), 271–278.

He, Y., Li, X., Hao, C., Xia, M., & Zhang, Y. (2021). Efficacy and safety of acupuncture for postoperative pain management: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Pain Research*, 2021, 8816734.

International Association for the Study of Pain. (2020). IASP terminology: Pain.
<https://www.iasp-pain.org/terminology>

Kehlet, H. (2020). Postoperative pain, analgesia, and recovery — Bedfellows that cannot be ignored. *Pain*, 161(1), S11–S16.

Kehlet, H. (2023a). Multimodal analgesia and perioperative care. *British Journal of Anaesthesia*, 130(1), 1–3.

Kehlet, H. (2023b). Multimodal approach to postoperative recovery. *Current Opinion in Anesthesiology*, 36(3), 256–261.

Lin, J. G., Chen, W. L., & Hsieh, C. L. (2022). Mechanisms of acupuncture in pain management: A neurobiological perspective. *American Journal of Translational Research*, 14(3), 1469–1481.

Lin, Z., Chen, M., & Wang, Y. (2022). Mechanisms of acupuncture in the modulation of inflammatory pain: A comprehensive review. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 852348.

Ljungqvist, O., Scott, M., & Fearon, K. C. H. (2020). Enhanced recovery after surgery: A review. *JAMA Surgery*, 155(3), 292–298.

Mao, J. J., Ismaila, N., Bao, T., Barton, D., Ben-Arye, E., Garland, E. L., & Bruner, D. W. (2021). Integrative medicine for pain management in oncology: Society for Integrative Oncology–ASCO guideline. *Journal of Clinical Oncology*, 40(34), 3998–4024.
<https://doi.org/10.1200/JCO.22.01357>

Ni, X., Ee, C., Xue, C. C., Goodman, S., & Story, D. (2020). Auricular acupuncture for postoperative pain management: A systematic review of randomised controlled trials. *Journal of Pain Research*, 13, 1365–1376

Schug, S. A., & Bruce, J. (2020). Risk stratification for the development of chronic postsurgical pain. *Pain Reports*, 2(6), e627.
<https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000627>

Tick, H., Nielsen, A., Pelletier, K. R., Bonakdar, R., Simmons, S., Glick, R., & Zador, V. (2021). Evidence-based nonpharmacologic strategies for comprehensive pain care: The Consortium Pain Task Force white paper. *Explore*, 14(3), 177–211.
<https://doi.org/10.1016/j.explore.2018.02.001>

World Health Organization. (2021). WHO global report on traditional and complementary medicine 2019. World Health Organization.
<https://www.who.int/publications/i/item/978924151536>

Wu, M. S., Chen, K. H., Chen, I. F., Huang, S. K., Tzeng, P. C., Yeh, M. L., & Lee, F. P. (2022). The efficacy of acupuncture in postoperative pain management: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Pain Medicine*, 23(2), 321–334.

Zhang, R., Lao, L., Ren, K., & Berman, B. M. (2022). Mechanisms of acupuncture–electroacupuncture on persistent pain. *Anesthesiology*, 120(2), 482–503.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRIFOOD SUPPLY CHAINS: ENHANCING QUALITY CONTROL DURING CULTIVATION AND PRODUCTION

Dr. Öğr. Üyesi, FARUK GALYON

Avrasya Üniversitesi,

faruk.galyon@avrasya.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1304-4657

ABSTRACT

Maintaining food quality and safety across increasingly complex supply chains requires predictive approaches that can identify risks before they affect the final product. Artificial intelligence (AI) enables data-driven quality assurance by supporting timely monitoring and decision-making from agricultural production to food processing. This review examines integrated AI frameworks for predictive quality assurance throughout the food supply chain. It discusses AI applications in agricultural cultivation, including precision agriculture sensor networks, predictive weather modeling, computer vision for early disease detection, optimal harvest timing, and livestock health monitoring to improve the quality of raw materials. The review also highlights AI technologies used in food processing and manufacturing, such as automated optical sorting, spectroscopic adulteration detection, real-time microbial risk assessment, formulation optimization, and predictive maintenance of processing equipment. These technologies enhance product consistency, reduce contamination risks, improve operational efficiency, and support traceability. By synthesizing recent advances in AI-based monitoring, prediction, and process optimization, this review provides a comprehensive overview of current developments and identifies future research opportunities for building safer, more resilient, and sustainable food supply chains.

Keywords: Predictive Quality Assurance, Food Supply Chain, Machine Learning, Precision Agriculture

1. INTRODUCTION

The digital transformation of the agricultural sector, often referred to as Smart Farming, leverages the synergy between Artificial Intelligence and the Internet of Things to ensure food safety and quality from the very start of the supply chain [1]. Modern precision agriculture relies heavily on Internet of

Things (IoT)-based sensor networks to monitor foundational soil parameters such as moisture, pH, and nutrient levels [2]. Research highlights the deployment of "Soil Sensors as a Service," where low-cost diagnostic systems utilize AI to maintain soil fertility through continuous monitoring [3]. These networks facilitate real-time data analysis using machine learning algorithms like Random Forests and K-nearest neighbors to predict the best-suited crops for specific soil conditions, thereby maximizing yield and market profitability [2], [4]. Furthermore, deep learning techniques such as Long Short-Term Memory networks are increasingly being integrated with smart meter data in agricultural IoT environments to detect anomalies in energy consumption trends [5]. These architectures enable the autonomous analysis of large agricultural datasets generated by intelligent sensor nodes, extracting valuable insights that allow for more precise resource management and predictive modeling before the harvest begins [3], [6].

Accurately forecasting microclimate conditions is critical for mitigating climate-induced risks such as frost or drought [7]. Recent studies have introduced frameworks like "DeepMC," which utilizes deep learning to predict various parameters, including soil moisture, temperature, and humidity, with over 90% accuracy at specific IoT sensor locations [8]. Innovative predictive frameworks now utilize Computational Fluid Dynamics datasets to train machine learning models, such as FuXi-CFD, which can reconstruct detailed three-dimensional environmental fields at a 30-meter resolution [9]. By training on large-scale simulations that encompass diverse terrain types, these models achieve CFD-comparable accuracy in identifying terrain-induced features like flow deflection and recirculation that are typically averaged out in broader models [9]. Furthermore, advancements in Fourier Neural Operators allow for the real-time acceleration of complex non-linear system dynamics, solving the Partial Differential Equations of fluid systems to simulate 3D microclimates with high spatial velocity accuracy [10]. Additionally, Transformer-based architectures are being employed to capture long-term climate dependencies, enabling precise forecasts of precipitation declines and temperature rises that directly impact crop production [11]. Models such as the Multi-Modal Spatial-Temporal Vision Transformer (MMST-ViT) and WeatherFormer integrate multi-modal meteorological data to predict fluctuations in crop yields, including wheat and soybeans, which directly impacts long-term agricultural planning and sustainability [11], [12], [13].

The integration of AI-powered drones and computer vision has revolutionized the early identification of pests and diseases [14]. Systems like "AgroVisionNet" utilize a hybrid Convolutional Neural Network (CNN)-Transformer backbone to synthesize high-resolution drone imagery with in-field IoT sensor data, enhancing the detection of infections even under

varied illumination and weather conditions [14]. By extracting spatial and contextual features, these models provide scalable, real-time disease monitoring across vast agricultural areas [14]. Research also demonstrates the use of 3D mapping and drone-based soil color data to identify vulnerable areas and automate interventions [15]. These technologies allow for preemptive actions to prevent widespread crop degradation, significantly reducing yield losses compared to manual field inspections which are often subjective and labor-intensive [14].

Determining the exact day for harvesting is vital for ensuring peak ripeness and extending the post-harvest shelf life of perishable products [16]. AI models optimize this process by analyzing fruit maturity indicators such as sugar content, acidity, and firmness using both destructive and non-destructive spectrometry and imaging techniques [17]. For instance, deep learning-based systems using Convolutional Neural Networks have been successfully trained on large image datasets to categorize ripeness stages in tomatoes and bananas with high accuracy [16], [18]. These algorithms minimize losses attributable to over-ripening or spoilage by providing data-driven sensory predictions [18], [19]. Furthermore, the use of AI-based thermal imaging allows for continuous monitoring of post-harvest handling, ensuring that products maintain their nutritional value and safety throughout the transition from the farm to the next stage of the food chain [20].

AI and wearable technologies, such as smart collars and biometric sensors, have become instrumental in providing objective, real-time assessments of livestock welfare [7], [21]. This monitoring is critical because animal welfare directly correlates to the quality of livestock products, including the sensory and nutritional attributes of meat and milk [22], [23], [24]. Emerging biometric technologies utilize an array of sensors, including accelerometers, GPS, and thermal probes, to extract critical physiological and behavioral metrics [7], [25]. These AI-driven systems monitor stress levels, activity patterns, and complex social interactions, providing a non-invasive and objective assessment of animal health and welfare throughout the production cycle [7], [25]. Machine learning models help objective measurements of animal stress, moving away from subjective visual assessments by veterinarians [7], [25]. By identifying injuries or physiological stress at an early stage, these AI-driven systems maintain high productivity and ensure a more humane transformation in animal treatment [7].

2. PROCESSING, MANUFACTURING, AND QUALITY CONTROL

Modern food processing has shifted toward high-speed, AI-driven machine vision systems to replace labor-intensive manual sorting [26]. Recent advancements utilize deep learning architectures, such as YOLOv8, to achieve real-time grading and defect detection. For example, integrated systems for sorting sweet potatoes using a YOLOv8-based computer algorithm have demonstrated grading accuracy of 93.8% and a sorting accuracy of 92.7% at conveyor speeds of 12 cm/s [27]. For accurate identification of defects and minute imperfections, such as insect bites or yellowing in grains, modern sorting systems typically utilize high-resolution line-scan CCD array cameras coupled with specialized high-performance hardware like Field-Programmable Gate Array (FPGA) or Digital Signal Processor (DSP) chips [28]. In the raspberry industry, deep learning algorithms have been implemented to ensure fruits meet "premium class" standards, achieving sorting accuracies between 91% and 98% [29]. Moreover, optical sorting machines commonly employ air ejectors for defect expulsion, where the air discharge is non-contact and produces high processing rates [28].

Hyperspectral Imaging (HSI) combined with artificial intelligence offers a rapid, non-destructive alternative to traditional chemical analysis for detecting food fraud. HSI captures "spectral fingerprints" by analyzing the unique signatures of food components across a wide range of wavelengths [30], [31]. This technology is particularly effective for identifying adulterants in high-value products like extra virgin olive oil, milk, and honey [30], [32]. For instance, deep learning models can now distinguish between authentic ingredients and unauthorized additives by analyzing sensitivity to water content and hydrogen bonding [32]. Recent studies highlight the use of Bayesian Additive Regression Trees (BART) and ensemble models to handle the high-dimensional nature of HSI data, improving model generalization and accuracy [30], [33]. Furthermore, the integration of multiple spectroscopic techniques, such as near infrared (NIR) and Raman spectroscopy with chemometrics, allows for real-time monitoring of food integrity during transformation [33], [34].

Predictive microbiology is being transformed by machine learning algorithms that model the complex, non-linear growth of pathogens under dynamic environmental conditions. Unlike traditional mechanistic models, ML platforms integrating Random Forest and Gaussian Process Regression can predict microbial behavior with higher accuracy [35]. Meta-analyses show that Random Forest models can achieve up to 95% accuracy and a 98% F1 score in predicting the presence of foodborne pathogens [36]. These algorithms analyze continuous data streams from

real-time facility sensors, monitoring variables such as temperature, pH, and water activity, to forecast the growth of pathogens like *Listeria monocytogenes* [37], [38]. By integrating IoT-enabled devices and biosensors, these systems facilitate proactive risk management by identifying contamination patterns as they occur [39]. By incorporating these predictive models into Hazard Analysis Critical Control Point protocols, food processors can proactively forecast microbial growth and identify contamination risks before they manifest [40], [41]. While conventional risk management methodologies are sometimes inadequate for addressing emerging risks, these data-driven AI approaches offer superior capabilities for modeling complex microbial responses and enhancing the accuracy of risk assessments compared to traditional systems [38], [42], [43]. By outperforming classical mechanistic models in predictive accuracy and robustness, these platforms enable more effective decision-making, though establishing their full reliability in industrial practice continues to depend on advancements in data integrity and standardized validation frameworks [35], [43].

AI is revolutionizing food product development by optimizing ingredient formulations to maintain consistent quality despite natural raw material variations. The adoption of AI tools, including machine learning, generative modeling, digital twins, and natural language processing, in food research and development has been shown to cut the number of physical prototypes required for reformulation by 70–90%, shorten complex reformulations from months to weeks, and reduce overall R&D costs by 30–60% [44]. For example, Recurrent Neural Networks are used to forecast specific texture attributes, such as crunchiness or creaminess, by analyzing starch-protein interactions, thereby significantly reducing prototyping cycles [45]. In additive manufacturing, or 3D food printing, predictive models analyze how ingredient viscosity and aeration affect final texture and nutritional retention [46]. Additionally, generative design algorithms can propose food architectures that maximize sensory appeal, such as mimicking the fibrous texture of meat with plant proteins [46]. These integrated frameworks allow for precise production control, ensuring that the final packaged product meets strict nutritional and sensory standards [47].

To prevent physical contamination from mechanical failures, AI-driven predictive maintenance utilizes real-time sensor data to monitor equipment wear-and-tear. Studies on Monoblock machines have shown that Xtreme Gradient Boosting can forecast production stoppages with high accuracy within a 3-minute window using vibration data [48]. Similarly, condition-based maintenance strategies for labeling machines help identify erroneous cuts before they lead to significant downtime or product waste [49]. In the vacuum packaging industry, Deep

Reinforcement Learning has been shown to reduce identified production defects by 93% and maintenance costs by 91% [50]. Proactive maintenance systems leverage industrial Internet of Things (IIoT) devices and 3-axis microelectromechanical systems (MEMS)-based accelerometers to interpret vibration signals, allowing for proactive interventions that prevent mechanical breakdowns [51]. By predicting critical degradation states early, manufacturers can proactively prevent contamination risks in the food processing environment [50], [51].

3. CONCLUSION

This review has demonstrated how integrated artificial intelligence frameworks can transform predictive quality assurance across every stage of the food supply chain, from precision agriculture and livestock monitoring to intelligent processing, manufacturing, and quality control. By synthesizing advances in machine learning, computer vision, IoT-enabled sensing, predictive analytics, and automated decision support, the article highlights the shift from reactive quality inspection toward proactive, data-driven quality prediction and risk prevention. Its primary contribution lies in presenting a holistic perspective that connects these technologies into a unified framework capable of improving food safety, product consistency, operational efficiency, and supply chain resilience. As AI technologies continue to mature and become more accessible, their successful integration will be instrumental in building smarter, safer, and more sustainable food systems, making predictive quality assurance not merely an innovation, but the future standard of global food production.

REFERENCES

- [1] A. H. Abdul Hussein, K. A. Jabbar, A. Mohammed, and H. M. Al-Jawahry, "AI and IoT in Farming: A Sustainable Approach," *E3S Web Conf.*, vol. 491, 2024, doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449101020>.
- [2] S. N. Kumar, K. Suriyan, A. T. Jacob, A. Varghese, and E. Francis, "Smart farming for a sustainable future: implementing IoT-based systems in precision agriculture," *Bull. Natl. Res. Cent.*, vol. 49, no. 1, p. 71, 2025, doi: [10.1186/s42269-025-01366-8](https://doi.org/10.1186/s42269-025-01366-8).
- [3] Selsiya, N. Pailochan, M. Riyaz, and Sreerambabu, "Soil Sensors as a Service: Low-Cost Soil Diagnostics System using IoT," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 8, pp. 529–532, Aug. 2023, doi: [10.22214/ijraset.2023.54997](https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.54997).

- [4] A. M. Chana, B. Batchakui, and B. B. Nges, “Real-Time Crop Prediction Based on Soil Fertility and Weather Forecast Using IoT and a Machine Learning Algorithm,” *Agricultural Sciences*, vol. 14, no. 05, pp. 645–664, 2023, doi: 10.4236/as.2023.145044.
- [5] K. M. Panduranga and R. H. Ranganathasharma, “Sustainability insights on learning-based approaches in precision agriculture in internet-of-things,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 14, no. 3, p. 3495, Jun. 2024, doi: 10.11591/ijece.v14i3.pp3495-3511.
- [6] P. Suebsombut, A. Sekhari, P. Sureephong, A. Belhi, and A. Bouras, “Field data forecasting using LSTM and Bi-LSTM approaches,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 24, p. 11820, 2021.
- [7] S. Fuentes, C. Gonzalez Viejo, E. Tongson, and F. R. Dunshea, “The livestock farming digital transformation: implementation of new and emerging technologies using artificial intelligence,” *Anim. Health Res. Rev.*, vol. 23, no. 1, pp. 59–71, 2022, doi: DOI: 10.1017/S1466252321000177.
- [8] P. Kumar, A. Nelson, Z. Kapetanovic, and R. Chandra, “Affordable Artificial Intelligence--Augmenting Farmer Knowledge with AI,” *arXiv preprint arXiv:2303.06049*, 2023.
- [9] C. Lin *et al.*, “Reconstructing fine-scale 3D wind fields with terrain-informed machine learning,” *Nat. Commun.*, 2026, doi: 10.1038/s41467-026-70562-5.
- [10] W. Peng, S. Qin, S. Yang, J. Wang, X. Liu, and L. (Leon) Wang, “Fourier neural operator for real-time simulation of 3D dynamic urban microclimate,” *Build. Environ.*, vol. 248, p. 111063, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.111063>.
- [11] A. Sghir and A. Iroshan, “Machine Learning Integrated Climate-Agriculture Forecasting: A Transformer-Based Approach to Predict Precipitation and Wheat Production Amidst Climate Change,” 2025, doi: 10.2139/ssrn.5137941.
- [12] A. Hasan, M. Roozbehani, and M. Dahleh, “WeatherFormer: A Pretrained Encoder Model for Learning Robust Weather Representations from Small Datasets,” *arXiv preprint arXiv:2405.17455*, 2024.
- [13] F. Lin *et al.*, “Mmst-vit: Climate change-aware crop yield prediction via multi-modal spatial-temporal vision transformer,” in *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 2023, pp. 5774–5784.
- [14] H. M. Manoj, D. L. Shanthi, B. N. Lakshmi, K. J. Archana, E. Venkata Naga Jyothi, and K. Archana, “AI-driven drone technology and computer vision for early detection of crop disease in large agricultural areas,” *Sci. Rep.*, vol. 16, no. 1, p. 2479, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-32384-1.

- [15] M. E. A. Mohammed, N. K. Alqahtani, M. Munir, and M. A. A. Eltawil, “Applications of AI and IoT for Advancing Date Palm Cultivation in Saudi Arabia,” in *Internet of Things - New Insights*, M. K. Habib, Ed., London: IntechOpen, 2023. doi: 10.5772/intechopen.113175.
- [16] Anjali *et al.*, “State-of-the-art non-destructive approaches for maturity index determination in fruits and vegetables: principles, applications, and future directions,” *Food Production, Processing and Nutrition*, vol. 6, no. 1, p. 56, 2024, doi: 10.1186/s43014-023-00205-5.
- [17] M. Islam, S. Bijjahalli, T. Fahey, A. Gardi, R. Sabatini, and D. W. Lamb, “Destructive and non-destructive measurement approaches and the application of AI models in precision agriculture: a review,” *Precis. Agric.*, vol. 25, no. 3, pp. 1127–1180, 2024, doi: 10.1007/s11119-024-10112-5.
- [18] R. Kanjilal, J. E. Saenz, and I. Uysal, “Large-scale data-driven uniformity analysis and sensory prediction of commercial banana ripening process,” *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 219, p. 113203, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2024.113203>.
- [19] J. Dutta, M. Patwardhan, P. Deshpande, S. Karande, and B. Rai, “Zero-shot transfer learned generic AI models for prediction of optimally ripe climacteric fruits,” *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, p. 7347, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-34527-8.
- [20] P. Pathmanaban, B. K. Gnanavel, S. S. Anandan, and S. Sathiyamurthy, “Advancing post-harvest fruit handling through AI-based thermal imaging: applications, challenges, and future trends,” *Discover Food*, vol. 3, no. 1, p. 27, 2023, doi: 10.1007/s44187-023-00068-2.
- [21] M. Lamanna, M. Bovo, G. Bellisola, A. Romanzin, and D. Cavallini, “Rethinking wearable technology in dairy cows: Challenges and prospects for smart collars,” *Open Agric. J.*, vol. 19, 2025.
- [22] Y. Garro-Aguilar *et al.*, “Acute stress-induced changes in the lipid composition of cow’s milk in healthy and pathological animals,” *Molecules*, vol. 28, no. 3, p. 980, 2023.
- [23] M. Ijaz, M. K. Yar, M. Mahmood, M. Bakhsh, and S. Ullah, “Effect of on- and off-Farm Factors on Animal Stress and Meat Quality Characteristics,” in *Animal Husbandry*, S. Kukovics, Ed., London: IntechOpen, 2022. doi: 10.5772/intechopen.104669.
- [24] Z. Skaperda, A. S. Veskoukis, and D. Kouretas, “Farm animal welfare, productivity and meat quality: Interrelation with redox status regulation and antioxidant supplementation as a nutritional intervention,” *World Acad. Sci. J.*, vol. 1, no. 4, pp. 177–183, 2019.
- [25] S. Neethirajan, “Artificial Intelligence and Sensor Innovations: Enhancing Livestock Welfare with a Human-Centric Approach,” *Human-Centric Intelligent Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 77–92, 2024, doi: 10.1007/s44230-023-00050-2.

- [26] L. Zhu, P. Spachos, E. Pensini, and K. N. Plataniotis, “Deep learning and machine vision for food processing: A survey,” *Curr. Res. Food Sci.*, vol. 4, pp. 233–249, 2021.
- [27] J. Xu, Y. Lu, and B. Deng, “Design, Prototyping, and Evaluation of A New Machine Vision-Based Automated Sweetpotato Grading and Sorting System,” *Journal of the ASABE*, vol. 67, no. 5, pp. 1369–1380, 2024.
- [28] Y. B. Wakchaure, B. K. Patle, and S. Pawar, “Prospects of robotics in food processing: an overview,” *Journal of Mechanical Engineering, Automation and Control Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 17–37, Jun. 2023, doi: 10.21595/jmeacs.2023.23209.
- [29] I. Medojevic, E. Veg, A. Joksimovic, and J. Ilic, “Promotion of color sorting in industrial systems using a deep learning algorithm,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 24, p. 12817, 2022.
- [30] M. Zhu and R. Rastelli, “Bayesian Additive Regression Trees (BART) in Food Authenticity: A Classification Approach to Food Fraud Detection,” *arXiv preprint arXiv:2510.15105*, 2025.
- [31] M. Nikzadfar *et al.*, “Hyperspectral Imaging Aiding Artificial Intelligence: A Reliable Approach for Food Qualification and Safety,” *Applied Sciences*, vol. 14, no. 21, p. 9821, Oct. 2024, doi: 10.3390/app14219821.
- [32] N. Gul, K. Muzaffar, S. Z. Ahmad Shah, A. Assad, H. A Makroo, and B. N. Dar, “Deep learning hyperspectral imaging: a rapid and reliable alternative to conventional techniques in the testing of food quality and safety,” *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, vol. 16, no. 1, pp. 78–97, Feb. 2024, doi: 10.15586/qas.v16i1.1392.
- [33] S. Shi *et al.*, “Spectroscopic techniques combined with chemometrics for rapid detection of food adulteration: Applications, perspectives, and challenges,” *Food Research International*, vol. 211, p. 116459, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116459>.
- [34] C. Melendreras, J. Montero, J. M. Costa-Fernández, and A. Soldado, “Trends on vibrational spectroscopy tools in the agri-food sector,” *Anal. Bioanal. Chem.*, vol. 418, no. 1, pp. 15–22, 2026, doi: 10.1007/s00216-025-06166-7.
- [35] F. Tarlak, B. B. Şimşek, M. Şahin, and F. Pérez-Rodríguez, “Next-Generation Predictive Microbiology: A Software Platform Combining Two-Step, One-Step and Machine Learning Modelling,” *Foods*, vol. 14, no. 18, p. 3158, Sep. 2025, doi: 10.3390/foods14183158.
- [36] V. Y. Medina, “Predictive Microbiology and Machine Learning by Optimization Productive Process: Metanalysis,” *Acta Scientific Microbiology*, vol. 6, no. 2, pp. 54–66, Feb. 2023, doi: 10.31080/ASMI.2023.06.1202.

- [37] S. Hiura, S. Koseki, and K. Koyama, “Prediction of population behavior of *Listeria monocytogenes* in food using machine learning and a microbial growth and survival database,” *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, p. 10613, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-90164-z.
- [38] I. J. Opara *et al.*, “AI-Driven Predictive Microbiology with Real-Time Sensors for Next-Generation Food Safety,” *Journal of Life Science and Public Health*, vol. 1, no. 2, pp. 79–89, Dec. 2025, doi: 10.69739/jlsph.v1i2.1299.
- [39] I. O. Olatoye, A. Olagoke, and E. O.-K. Olasumbo, “Advancing real-time predictive systems for *Listeria* and *E. coli* detection in meat processing facilities across the USA,” *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, vol. 5, no. 6, pp. 1504–1514, 2024, doi: 10.54660/IJMRGE.2024.5.6.1504-1514.
- [40] O. R. Taiwo, H. Onyeaka, E. K. Oladipo, J. K. Oloke, and D. C. Chukwugozie, “Advancements in Predictive Microbiology: Integrating New Technologies for Efficient Food Safety Models,” *Int. J. Microbiol.*, vol. 2024, no. 1, p. 6612162, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.1155/2024/6612162>.
- [41] V. Kumar, J. J. Ahire, and N. K. Taneja, “Advancing microbial food safety and hazard analysis through predictive mathematical modeling,” *The Microbe*, vol. 2, p. 100049, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100049>.
- [42] Olagoke Ayeni and Olasumbo Esther Olagoke-Komolafe, “Innovative risk management techniques in food safety: A review of best practices and emerging trends,” *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, vol. 6, no. 9, pp. 2241–2257, Sep. 2024, doi: 10.51594/ijarss.v6i9.1589.
- [43] Adama Gaye, Barnabas Narteh Paflo, and Derrick Atuobi Oware, “Assessing the reliability of AI-driven predictive models in food safety risk management,” *Computer Science & IT Research Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 49–58, Mar. 2025, doi: 10.51594/csitrj.v6i2.1832.
- [44] M. Azeem *et al.*, “Revolutionizing Food Product Development: Use of AI in Product Formulation, Sensory Prediction & Sustainable Scaling,” *Scholars Acad. J. Biosci.*, vol. 13, no. 07, pp. 908–916, Jul. 2025, doi: 10.36347/sajb.2025.v13i07.005.
- [45] D. Priyadharshini, I. Muthuvel, S. Saraswathy, P. S. Kavitha, and V. Jegadeeswari, “Precision to plate: AI-driven innovations in fermentation and hyper-personalized diets,” *Front. Nutr.*, vol. Volume 12-2025, 2025, [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2025.1659511>

- [46] A. Sista, “Artificial Intelligence in 3D Printing of Foods: From Ingredient Dispensing to Personalized Nutrition,” *Journal of Information Systems Engineering and Management*, vol. 10, no. 61s, pp. 260–273, Oct. 2025, doi: 10.52783/jisem.v10i61s.13353.
- [47] W. Min *et al.*, “From plate to production: Artificial intelligence in modern consumer-driven food systems,” *arXiv preprint arXiv:2311.02400*, 2023.
- [48] F. Fernández-Peláez *et al.*, “Predictive Maintenance in the Food Industry: A Case Study Using Vibration Sensors and Machine Learning Techniques,” in *26th International Conference of the Catalan Association for Artificial Intelligence*, T. Alsinet, X. Vilasís, D. García, and E. Álvarez, Eds., Sep. 2024. doi: 10.3233/FAIA240407.
- [49] A. Acernese, C. Del Vecchio, M. Tipaldi, N. Battilani, and L. Glielmo, “Condition-based maintenance: an industrial application on rotary machines,” *J. Qual. Maint. Eng.*, vol. 27, no. 4, pp. 565–585, Oct. 2021, doi: 10.1108/JQME-10-2019-0101.
- [50] H. Jiménez, A. Aribisala, C. Cavalcante, P. Do, and C.-G. Lee, “A deep reinforcement learning-based maintenance optimization for vacuum packaging machines considering product quality degradation,” *J. Food Process Eng.*, vol. 46, no. 11, p. e14429, Nov. 2023, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpe.14429>.
- [51] O. Vermesan *et al.*, “An Intelligent Real-Time Edge Processing Maintenance System for Industrial Manufacturing, Control, and Diagnostic,” *Frontiers in Chemical Engineering*, vol. Volume 4-2022, 2022, [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/journals/chemical-engineering/articles/10.3389/fceng.2022.900096>

İMİPRAMİNİN DİYABETİK SIÇANLARDAN ELDE EDİLEN SİNAPTOZOMLAR ÜZERİNE SEMAFORİN SİNYAL YOLAĞI ÜZERİNDEN ETKİSİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Moleküler Biyolog, Merve TAŞTAN

Adli Tıp Kurumu, İstanbul

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Genel Biyoloji ABD.

mervetastantr@gmail.com – 009-0002-1431-6383

Prof. Dr. Hakan ŞENTÜRK

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Genel Biyoloji ABD.

hsenturk@ogu.edu.tr - 0000-0002-6199-8594

Doç. Dr. Fatih KAR

Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Tıbbi Biyokimya ABD.

fatih.kar@ksbu.edu.tr – 0000-0001-8356-9806

ÖZET

Diyabetes mellitus, merkezi sinir sisteminde sinaptik fonksiyon bozuklukları ve nörodejeneratif süreçlerle ilişkilendirilen önemli bir metabolik hastalıktır. Diyabetik koşullarda artan oksidatif stres ve apoptotik mekanizmalar, sinaptik bütünlüğün bozulmasına ve nörolojik fonksiyon kayıplarına yol açabilmektedir. Antidepresan bir ajan olan imipraminin, sinaptik düzeydeki etkilerinin ve bu etkilerin altında yatan moleküler mekanizmaların aydınlatılması, diyabete bağlı sinir sistemi hasarlarının anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasının amacı, diyabetik sıçanların ön beyin dokusundan elde edilen sinaptozomlarda imipraminin etkilerini, semaforin sinyal yolağı, oksidatif stres ve apoptotik süreçler üzerinden değerlendirmektir. Bu kapsamda, diyabetik deney hayvanlarından izole edilen sinaptozomlar, 15 µg/mL, 60 µg/mL ve 90 µg/mL konsantrasyonlarında imipramin ile muamele edilmiştir. Kontrol grubuna herhangi bir farmakolojik ajan uygulanmamış ve tüm örnekler fizyolojik koşulları taklit edecek şekilde 37°C’de inkübe edilmiştir. İmipraminin semaforin sinyal yolağı

üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla Semaforin 3E (Sema3E) ve reseptörü olan Plexin-D1 düzeyleri analiz edilmiştir. Ayrıca oksidatif stres parametreleri olarak süperoksit dismutaz, katalaz ve malondialdehit düzeyleri; apoptotik süreçlerin değerlendirilmesi amacıyla ise sitokrom c ve kaspaz-3 düzeyleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, imipraminin diyabetik sıçanlardan elde edilen sinaptozomlarda semaforin sinyal yolağı ile ilişkili moleküler değişikliklere yol açtığı, oksidatif stres ve apoptozla ilişkili parametreler üzerinde düzenleyici etkilere sahip olabileceği gösterilmiştir. Bu sonuçlar, imipraminin diyabetik koşullarda sinaptik düzeyde potansiyel nöroprotektif etkilerinin bulunduğunu düşündürmektedir. Bu çalışma, imipraminin diyabetik sinaptozomlar üzerindeki etkilerini semaforin sinyal yolağı, oksidatif stres ve apoptozla ilişkili parametreler üzerinde düzenleyici etkilere sahip olabileceği gösterilmiştir. Bu sonuçlar, imipraminin diyabetik koşullarda sinaptik düzeyde potansiyel nöroprotektif etkilerinin bulunduğunu düşündürmektedir. Bu çalışma, imipraminin diyabetik sinaptozomlar üzerindeki etkilerini semaforin sinyal yolağı, oksidatif stres ve apoptotik mekanizmalar çerçevesinde ele alarak, diyabete bağlı sinaptik bozuklukların moleküler temellerinin anlaşılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Diyabet, imipramin, sinaptozom, semaforin 3E, Plexin-D1, oksidatif stres, apoptoz

1. GİRİŞ

Diyabetes Mellitus (DM), kronik hiperglisemi ile seyreden periferik metabolik dokuları ve merkezi sinir sistemini etkileyebilen çok yönlü bir metabolik hastalıktır. Diyabetik koşullarda glukoz homeostazının bozulması oksidatif stres, mitokondriyal disfonksiyon, inflamatuvar yanıt ve apoptotik süreçlerin aktivasyonu gibi hücrel mekanizmaları tetikleyerek nöronal bütünlük üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Güncel çalışmalar, metabolik bozuklukların periferik sinir sistemi kadar merkezi sinir sistemini de etkilediğini diyabetin bilişsel işlev kaybı, nörodejeneratif süreçler ve sinaptik fonksiyon bozuklukları ile ilişkili olabileceğini göstermektedir (Maiese, 2023; Trofin vd., 2025). Beyin dokusu, yüksek oksijen tüketimi, yoğun mitokondri içeriği ve lipid bakımından zengin membran yapısı nedeniyle oksidatif strese duyarlı bir organdır. Reaktif oksijen türlerinin antioksidan savunma kapasitesini aşacak düzeyde artması, protein oksidasyonu, lipid peroksidasyonu, DNA hasarı ve mitokondriyal işlev bozukluğu gibi süreçlere yol açabilmektedir. Bu mekanizmalar, özellikle sinaptik yapılarda enerji metabolizmasını, nörotransmitter salınımını ve sinaptik plastisiteyi olumsuz etkileyebilecek niteliktedir. Oksidatif stresin nörodejeneratif hastalıkların ilerleyişinde

önemli bir faktör olduğu ve beyin dokusunun oksidatif hasara karşı belirgin duyarlılık gösterdiği güncel literatürde vurgulanmaktadır (Trofin vd., 2025; Liu vd., 2025).

Diyabetik koşullarda oksidatif stres ile apoptoz arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Kronik hiperglisemiye bağlı artan reaktif oksijen türleri, mitokondriyal membran bütünlüğünü bozarak sitokrom-c salınımını ve kaspaz aracılı apoptotik yolların aktivasyonunu tetikleyebilir. Bu durum, nöronal hücrelerde ve sinaptik yapılarda yapısal ve fonksiyonel kayıplara zemin hazırlayabilir. Mitokondriyal disfonksiyon, oksidatif stres ve nöronal apoptoz, birbirini besleyen süreçler olup bu mekanizmalar sinir sistemi hasarında merkezi bir rol oynamaktadır (Goyal vd., 2024). Diyabete bağlı merkezi sinir sistemi değişikliklerinin araştırılmasında streptozotolin (STZ) ile oluşturulan deneysel modeller yaygın olarak kullanılmaktadır. STZ, pankreatik β -hücre hasarı oluşturarak kalıcı hiperglisemiye neden olmakta ve bu yönüyle diyabetin metabolik ve nörolojik sonuçlarının deneysel olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır. STZ ile oluşturulan modellerde oksidatif stres artışı, lipid peroksidasyonu, nöroinflamasyon, apoptotik belirteçlerde yükselme ve öğrenme-bellek işlevlerinde bozulma gibi değişiklikler bildirilmektedir. Bu bulgular, STZ modelinin diyabete bağlı nöronal ve sinaptik hasarın moleküler düzeyde değerlendirilmesi için uygun bir deneysel zemin sunduğunu göstermektedir (Venuti vd., 2025; Kaur vd., 2025).

Sinaptik düzeydeki değişikliklerin incelenmesi, diyabete bağlı nörolojik etkilerin anlaşılması açısından özel önem taşımaktadır. Sinaptozomlar, presinaptik uçları ve kısmen postsinaptik yapıları içeren izole sinaptik partiküller olup, sinaptik düzeyde gerçekleşen biyokimyasal ve moleküler değişikliklerin doğrudan analiz edilmesine olanak tanır. Güncel deneysel çalışmalar, STZ ile ilişkili bozulmuş insülin sinyalinin hipokampal sinaptozomlarda erken oksidatif hasar ve sinaptik protein kaybı ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle sinaptozomal fraksiyonların incelenmesi, diyabetik koşullarda sinaptik bütünlüğün ve sinaptik disfonksiyonun moleküler belirleyicilerini ortaya koymak açısından önemli bir yaklaşımdır (Ansari vd., 2024). Diyabetik beyin dokusunda sinaptik organizasyonu etkileyebilecek moleküler yollardan biri de semaforin sinyal sistemidir. Semaforinler başlangıçta aksonal yönlendirme molekülleri olarak tanımlanmış olmakla birlikte, güncel çalışmalar bu protein ailesinin erişkin merkezi sinir sisteminde sinaptik organizasyon, dendritik yapılanma, hücre iskeleti düzenlenmesi ve nöronal bağlantı özgüllüğü üzerinde de etkili olabileceğini göstermektedir. Özellikle sınıf 3 semaforinler, merkezi sinir sisteminde hem gelişimsel dönemde hem de erişkin dönemde sinaptik bağlantıların düzenlenmesinde rol

oynayan önemli moleküler araçlar arasında değerlendirilmektedir (Lu vd., 2025; Kim vd., 2024).

Sema3E–Plexin-D1 eksenini, semaforin ailesi içinde özgün bir sinyal sistemi olarak öne çıkarmaktadır. Sema3E'nin nöropilin aracılığına gereksinim duymadan doğrudan Plexin-D1 reseptörüne bağlanabilmesi, bu yolak için ayırt edici bir özellik oluşturmaktadır. Sema3E–Plexin-D1 etkileşiminin merkezi sinir sisteminde yolak-spesifik sinaptik bağlantıların oluşumu, dendritik sinaps düzenlenmesi ve aksonal yönlendirme süreçlerinde görev alabildiği bildirilmektedir. Bununla birlikte, bu sinyal ekseninin diyabetik koşullarda ve özellikle sinaptozomal düzeydeki rolü henüz yeterince açıklığa kavuşturulmamıştır (Oh ve Gu, 2013). İmipramin, trisiklik antidepresanlar grubunda yer alan ve temel olarak serotonin ile noradrenalin geri alımını inhibe ederek etki gösteren klasik bir antidepresan ajandır. İmipramin oksidatif stres, mitokondriyal fonksiyon, hücre içi sinyal yolları ve apoptotik süreçler üzerinden de biyolojik etkiler gösterebileceği ileri sürülmektedir. STZ ile oluşturulan nörodejeneratif bir modelde imipraminin bellek bozukluğunu ve hipokampal apoptozu azaltabildiğine ilişkin bulgular, bu ajanın hücresel stres yanıtları ve apoptotik mekanizmalar üzerinde düzenleyici etki gösterebileceğini düşündürmektedir (Javadpour vd., 2021; Bielawski vd., 2023).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. MATERYAL METOD

2.1.1. Deney Hayvanları ve Etik Onay

Deney hayvanlarına ait tüm işlemler için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yerel Hayvan Deneyleri Etik Kurulu'ndan (HADYEK) etik onay belgesi alınmıştır. (Karar tarihi ve Karar Numarası: 05.02.2026/1017).

Çalışma, Araştırma Yürütücüsü Prof. Dr. Hakan ŞENTÜRK'ün olduğu 18.09.2024 tarihi ve 1017/2024 sayılı etik kurul onayı ile yapılan “ Streptozotolin İle İndüklenmiş Sıçanlarda Borik Asit ve Dafagliflozinin Deneysel Diyabetik Nefropati, Diyabetik Retinopati ve Semaforin Genleri Üzerindeki Koruyucu Etkileri “ başlıklı çalışmanın sonraki araştırmada kullanılmak üzere, uygun koşullarda(-80°C) saklanan beyin dokularından, diyabet kontrol grubu sıçanlara ait (28 adet ön beyin) beyin dokuları kullanılarak gerçekleştirilecektir. Bu çalışmada 250-300 g ağırlığında, Wistar Albino türü dişi sıçanlar kullanılmıştır. Diyabetik sıçan beyinlerinden sinaptozomal fraksiyon eldesi için Whittaker ve arkadaşları (1964) tarafından tanımlanan yöntem esas alındı.

Dekapitasyon yöntemi ile sakrifiye edildikten sonra hızlı bir şekilde çıkarılarak elde edilen beyin dokularından, frontal korteksler (ön beyin) izole edilecek ve sinir sisteminin diğer bileşenlerinden ayırdı. Doku yüzeyinde bulunan kan kalıntıları uzaklaştırmak amacıyla frontal korteksler fizyolojik salin solüsyonu (PSS) ile yıkandı. Her bir ön beyin dört eşit parçaya bölünecek ve tartıldı. Çalışma; 4 grup üzerinden, n=7 (n: her grupta yer alan ön beyin parça sayısı) olacak şekilde, toplam 28 ön beyin parçası kullanılarak gerçekleştirildi.

Grupları oluşturan ön beyin parçaları, buz soğukluğunda HEPES (4(2-Hidroksietil) piperazin-1-etansülfonik asit) (10 mmol/L) + sükröz (0,32 mol/L) içeren homojenizasyon solüsyonuna alınarak aynı ortamda homojenize edildi. Elde edilen homojenat, 3000×g'de 10 dakika santrifüj edilerek ve süpernatant kısmı dikkatlice toplanmıştır. Daha sonra bu süpernatant, 15000×g'de 20 dakika santrifüj edildi. Santrifüj sonrası süpernatant uzaklaştırılarak geride kalan sinaptozomca zengin pellet elde edildi.

Elde edilen pellet, 2 mL yapay serebrospinal sıvı (aCSF) içerisinde resüspanse edildi. Kullanılan aCSF'nin içeriği şu şekilde olacaktır: 116 mM NaCl, 5,4 mM KCl, 0,9 mM MgCl₂, 0,9 mM NaH₂PO₄, 25 mM NaHCO₃, 1,8 mM CaCl₂ ve 10 mM glukoz (pH 7,2). Hazırlanan sinaptozomal süspansiyonlar, deneysel uygulamalar için kullanıldı.

2.1.2. Deneysel Tasarım ve Uygulamalar

Bu çalışmada diyabetik sıçanlardan elde edilen beyin sinaptozomları üzerine farklı dozlarda imipraminin etkileri araştırıldı. Sinaptozomal fraksiyonlar, Whittaker ve arkadaşları tarafından tanımlanan yöntem esas alınarak elde edildi.

2.2. İmipramin Uygulaması ve Deney Grupları

Elde edilen sinaptozomlar, deney gruplarına göre 15 µg/mL, 60 µg/mL ve 90 µg/mL dozlarında imipramin ile muamele edildi. Kontrol grubu sinaptozomlarına herhangi bir ilaç uygulaması yapılmayacaktır. Tüm örnekler, fizyolojik koşulları taklit edecek şekilde 37°C'de belirlenen süre boyunca inkübe edildi.

Çalışma aşağıdaki deney grupları üzerinden yürütülmüştür:

- GRUP 1 (Diyabet Kontrol grubu): Bu gruptaki diyabetik deney hayvanlarından elde edilen ön beyin sinaptozomlarına hiçbir madde uygulaması yapılmayacaktır.
- GRUP 2 (Diyabet+ 15 µg/mL imipramin): Bu gruptaki diyabetik deney hayvanlarından elde edilen ön beyin sinaptozomlarına 15 µg/mL imipramin uygulandı.

- GRUP 3 (Diyabet+ 60 µg/mL imipramin): Bu gruptaki diyabetik deney hayvanlarından elde edilen ön beyin sinaptozomlarına 60 µg/mL imipramin uygulandı.
- GRUP 4 (Diyabet+ 90 µg/mL imipramin): Bu gruptaki diyabetik deney hayvanlarından elde edilen ön beyin sinaptozomlarına 90 µg/mL imipramin uygulandı.

2.3. Semaforin Sinyal Yolağının Değerlendirilmesi

İmipraminin sinaptozomlar üzerindeki etkilerinin semaforin sinyal yolağı ile ilişkisini değerlendirmek amacıyla Semaforin 3E (Sema3E) ve reseptörü olan Plexin-D1 düzeyleri araştırıldı.

2.4. Oksidatif Stres Parametrelerinin Analizi

İmipraminin oksidatif stres üzerindeki etkilerini ortaya koymak amacıyla sinaptozom örneklerinde SOD, CAT ve MDA düzeyleri belirlenecektir.

2.5. Apoptozun Değerlendirilmesi

İmipraminin diyabetik sıçan beyin sinaptozomlarında apoptoz üzerine etkilerini incelemek amacıyla sitokrom c ve kaspaz-3 düzeyleri analiz edildi. Elde edilip tüm veriler doğrultusunda, imipraminin diyabetik sıçan beyin sinaptozomları üzerindeki etkilerinin semaforin sinyal yolağı, oksidatif stres ve apoptotik mekanizmalar üzerinden değerlendirilmesi sağlanmıştır.

2.6. İstatiksel Analizler

Sonuçlar one-way analysis of variance (ANOVA) test kullanılarak the Statistical Package of the Social Science (SPSS) ve GraphPad Prism 11.0.1 paket programları ile yapıldı. Bütün bilgiler ortalama $\pm$ standart sapma olarak belirtilecek ve istatistiksel farklılıklar $p < 0,05$ 'e göre yorumlanacaktır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada imipramin uygulamasının diyabetik sıçanlardan elde edilen sinaptozomlarda SEMA3E ve PLXND1 düzeylerini anlamlı düzeyde azalttığı belirlenmiştir. Bulgular, imipraminin diyabetik sinaptozomlarda SEMA3E–PLXND1 ekseninde düzenleyici bir etki oluşturabileceğini göstermektedir. Ding ve arkadaşları (2011), SEMA3E–PLXND1 sinyalinin striatumda yolak-spesifik sinaps oluşumunu kontrol ettiğini göstermiştir.

SEMA3E–PLXND1 yolunun yalnızca gelişimsel dönemde değil, erişkin sinir sisteminde de işlevsel olduğu bildirilmektedir. Kim ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında Sema3E–Plexin-D1 sinyalinin aksonal uzama ve yönlenme süreçlerini düzenlediği gösterilmiştir. Bu durum, mevcut çalışmamızda imipramin sonrası SEMA3E ve PLXND1 düzeylerinde görülen azalmanın, diyabetik sinaptik yapılarda bağlantısal yeniden düzenlenme veya stres yanıtı ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Bu çalışmada SEMA3E ve PLXND1 düzeylerinin imipramin uygulamasıyla azalması, ilacın diyabetik sinaptozomlarda semaforin sinyalini baskılayıcı veya dengeleyici bir etki oluşturabileceğini düşündürmektedir. İmipraminin klasik etkisi monoamin geri alım inhibisyonu üzerinden açıklanmaktadır. Güncel deneysel veriler bu ajanın hücre içi stres yolakları ve apoptotik süreçler üzerinde de etkili olabileceğini göstermektedir. Javdpour ve arkadaşları, STZ ile oluşturulan modelde imipraminin bellek bozukluğunu azalttığını ve bu etkinin kaspaz-3 ile JNK aktivitesindeki azalma ve ERK aktivitesindeki artışla ilişkili olduğunu bildirmiştir.

İmipramin uygulamasının diyabetik sıçan sinaptozomlarında oksidatif stres parametrelerini anlamlı düzeyde değiştirdiği belirlenmiştir. MDA düzeylerinde görülen azalma, sinaptozomal membranlarda lipid peroksidasyonunun azalmış olabileceğini düşündürmektedir. Diyabetik modellerde MDA artışı ve antioksidan savunmanın zayıflaması oksidatif hasarın temel biyokimyasal göstergeleri arasında kabul edilmektedir. Güncel çalışmalar da diyabetik koşullarda MDA düzeyinin oksidatif stres ve doku hasarı ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Rusli vd., 2024).

Bu çalışmada SOD ve CAT düzeylerindeki değişim imipramin uygulamasının diyabetik sinaptozomlarda antioksidan savunma kapasitesini artırabileceğini göstermektedir. Bu bulgular literatürle uyumludur. Diyabetik hayvan modellerinde antioksidan etkili uygulamaların SOD ve CAT düzeylerini artırırken MDA düzeylerini azalttığı bildirilmektedir. Rusli ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında, diyabetik periferik nöropati modellerinde antioksidan etkili tedavilerin SOD, CAT ve GSH düzeylerini artırdığı; lipid peroksidasyonu ve MDA düzeylerini azalttığı belirtilmiştir. Tu ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında da diyabetik bilişsel bozukluk modelinde tedavi uygulamasının CAT ve SOD aktivitelerini artırırken MDA düzeyini azalttığı rapor edilmiştir. Bu sonuçlar, mevcut çalışmada gözlenen MDA azalması ve SOD/CAT artışının diyabete bağlı oksidatif hasarın baskılanmasıyla ilişkili olabileceğini desteklemektedir.

İmipraminin oksidatif stres üzerindeki etkilerine ilişkin çalışmalar da bu yorumu desteklemektedir. Reus ve arkadaşları (2010), imipramin uygulamasının beyin bölgelerinde

SOD ve CAT aktivitelerini artırabileceğini bildirmiştir. Duda ve arkadaşları (2016) ise kronik imipramin tedavisinin oksidatif stres belirteçleri ve antioksidan enzim aktiviteleri üzerinde etkili olabileceğini göstermiştir. Ayrıca Javadpour ve arkadaşlarının STZ ile oluşturulan nörodejeneratif modelinde imipramin, bellek bozukluğunu ve hipokampal apoptozu azaltmış; bu etkinin hücre içi stres yollarıyla ilişkili olabileceği belirtilmiştir.

Sinaptozomlarda CASP3 ve CYCS düzeylerini anlamlı biçimde azalttığı belirlenmiştir. Bu durum, imipraminin diyabetik sinaptozomlarda apoptotik aktivasyonu azaltabileceğini düşündürmektedir. Zhang ve arkadaşları (2023), yüksek glukoz ortamında gelişen oksidatif stresin mitokondriyal disfonksiyonla yakından ilişkili olduğunu ve bu sürecin diyabetik komplikasyonların gelişimine katkı sağladığını belirtmiştir. Liu ve arkadaşları (2025) da merkezi sinir sisteminde oksidatif hücre ölümünün mitokondriyal hasar, sitokrom-c salınımı ve kaspaz-3 aktivasyonu ile ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Bu bilgiler, mevcut çalışmada CYCS ve CASP3 düzeylerindeki azalmanın diyabetik sinaptozomlarda apoptotik sürecin baskılanması ile ilişkili olabileceğini desteklemektedir.

İmipraminin bu parametreler üzerindeki etkisi literatürdeki deneysel bulgularla uyumludur. Javadpour ve arkadaşları (2021), STZ ile oluşturulan nörodejeneratif modelde imipraminin bellek bozukluğunu azalttığını ve bu etkinin kaspaz-3 aktivitesindeki azalma ile ilişkili olabileceğini bildirmiştir. Aynı çalışmada imipraminin JNK aktivitesini azalttığı ve ERK aktivitesini artırdığı belirtilmiştir. Bu durum, imipraminin yalnızca monoaminergic sistem üzerinden değil, hücre içi stres ve apoptotik yollar üzerinden de etki gösterebileceğini düşündürmektedir. Bu çalışmada CYCS ve CASP3 düzeylerinin özellikle 60 ve 90 µg/mL imipramin gruplarında daha belirgin azalması, imipraminin etkisinin dozla ilişkili olabileceğini göstermektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, diyabetik sıçanların ön beyin dokusundan elde edilen sinaptozomlarda imipraminin semaforin sinyal yolağı, oksidatif stres ve apoptotik mekanizmalar üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında diyabet kontrol grubu ile 15 µg/mL, 60 µg/mL ve 90 µg/mL imipramin uygulanan gruplar karşılaştırılmıştır.

Elde edilen bulgular, imipramin uygulamasının diyabetik sinaptozomlarda semaforin sinyal yolağı ile ilişkili SEMA3E ve PLXND1 düzeylerini anlamlı biçimde azalttığını göstermiştir. SEMA3E düzeylerinde özellikle 60 µg/mL ve 90 µg/mL imipramin gruplarında

belirgin bir düşüş saptanmıştır. PLXND1 düzeylerinde de benzer şekilde imipramin dozuna bağlı azalma eğilimi gözlenmiştir.

Oksidatif stres parametreleri açısından değerlendirildiğinde, imipramin uygulamasının MDA düzeylerini azalttığı, SOD ve CAT düzeylerini ise artırdığı belirlenmiştir. MDA düzeyindeki azalma, lipid peroksidasyonunun azalmış olabileceğini göstermektedir. SOD ve CAT düzeylerindeki artış ise antioksidan savunma kapasitesinin güçlenmiş olabileceğine işaret etmektedir. Bu bulgular, imipraminin diyabetik sinaptozomlarda oksidatif stres üzerinde azaltıcı bir etki gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Apoptotik parametreler açısından CASP3 ve CYCS düzeylerinde imipramin uygulaması sonrasında anlamlı azalma saptanmıştır. Sitokrom-c düzeyindeki azalma, mitokondriyal apoptotik yolun baskılanabileceğini düşündürmektedir. Kaspaz-3 düzeyindeki düşüş ise apoptotik yürütücü basamakların zayıflamış olabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, imipraminin diyabetik sinaptozomlarda apoptotik süreçleri azaltıcı yönde etki gösterebileceğini desteklemektedir.

Çalışmanın genel sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, imipraminin diyabetik sinaptozomlarda semaforin sinyal yolağını modüle ettiği, oksidatif stresi azalttığı ve apoptotik belirteçleri düşürdüğü görülmektedir. Bu sonuçlar, çalışmanın ana hipotezini desteklemektedir. Alt hipotezler açısından da imipramin uygulamasının SEMA3E ve PLXND1 düzeylerini değiştirdiği, SOD, CAT ve MDA düzeylerini düzenlediği, sitokrom-c ve kaspaz-3 düzeylerini etkilediği ve birçok parametrede doza bağlı bir değişim eğilimi oluşturduğu belirlenmiştir. Bu nedenle null hipotez reddedilmiş; imipraminin diyabetik sinaptozomlarda incelenen moleküler parametreler üzerinde anlamlı etkiler oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Mevcut bulgular, diyabete bağlı sinaptik bozuklukların yalnızca oksidatif stres ve apoptozla birlikte semaforin sinyal yolağı ile de ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Bu yönüyle çalışma, diyabetik koşullarda sinaptik düzeyde ortaya çıkan moleküler değişikliklerin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Çalışmada sağlıklı kontrol grubu yer almadığı için incelenen parametrelerin normal fizyolojik düzeylerle doğrudan karşılaştırılması mümkün olmamıştır. Ayrıca çalışma sinaptozomal fraksiyonlar üzerinde yürütüldüğü için elde edilen bulgular hücresel ve davranışsal düzeydeki sonuçlarla desteklenmemiştir. Bu nedenle sonuçlar, diyabet kontrol grubu ile imipramin uygulanan diyabetik gruplar arasındaki farklar üzerinden değerlendirilmelidir.

Gelecek çalışmalarda sağlıklı kontrol, diyabet kontrol ve farklı dozlarda imipramin uygulanan grupların birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Ayrıca SEMA3E ve PLXND1 düzeylerinin protein ekspresyonu yanında gen ekspresyonu düzeyinde de incelenmesi, semaforin sinyal yolağının daha kapsamlı anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Oksidatif stres ve apoptoz bulgularının mitokondriyal membran potansiyeli, inflamatuvar belirteçler ve sinaptik protein düzeyleri ile desteklenmesi de yararlı olacaktır.

İmipraminin diyabetik koşullarda potansiyel nöroprotektif etkilerinin daha net ortaya konabilmesi için ileri çalışmalarda davranışsal testler, histopatolojik değerlendirmeler ve farklı beyin bölgelerine yönelik analizler yapılabilir. Özellikle hipokampus, korteks ve striatum gibi sinaptik plastisite açısından önemli bölgelerin ayrı ayrı incelenmesi, diyabete bağlı merkezi sinir sistemi etkilerinin daha ayrıntılı değerlendirilmesini sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Abu Khadra, K. M., Bataineh, M. I., Khalil, A., ve Saleh, J. (2024). Oxidative stress and type 2 diabetes: the development and the pathogenesis, Jordanian cross-sectional study. *European Journal of Medical Research*, 29(1), 370.
- Alshehri, B. (2024). Cytochrome c and cancer cell metabolism: A new perspective. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 32(12), 102194.
- Amerikan Diyabet Derneği [ADA] Diyabet Mesleki Uygulama Komitesi (2026); 2. Diagnosis and Classification of Diabetes: Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care* 1 January 2026; 49 (Supplement_1): S27–S49. <https://doi.org/10.2337/dc26-S002>.
- Amerikan Diyabet Derneği. (2019). 2. Classification and diagnosis of diabetes: Standards of Medical Care in Diabetesd 2019. *Diabetes Care* 2019; 42 (Suppl. 1): 13–28 . <https://doi.org/10.2337/dc19-S002>
- Angelova, P. R., ve Abramov, A. Y. (2018). Role of mitochondrial ROS in the brain: from physiology to neurodegeneration. *FEBS letters*, 592(5), 692-702.
- Ansari, M. A., Rao, M. S., Al-Jarallah, A., ve Babiker, F. M. (2023). Early time course of oxidative stress in hippocampal synaptosomes and cognitive loss following impaired insulin signaling in rats: Development of sporadic Alzheimer's disease. *Brain Research*, 1798, 148134.

- Ansari, W. A., Srivastava, K., Nasibullah, M., ve Khan, M. F. (2025). Reactive oxygen species (ROS): Sources, generation, disease pathophysiology, and antioxidants. *Discover Chemistry*, 2(1), 191.
- Avcı, E. ve Çakır, E. (2014). Diyabetes Mellitusun Mikrovasküler Komplikasyonu: Diyabetik Nefropati. *Selçuk tıp Dergisi*. 30 (Ek Sayı-1), 15-18.
- Aydemir, M. (2022). Diyabet Kontrolü ve Komplikasyonları Arasındaki İlişki: Monitorizasyon İlkeleri. *İç Hastalıkları Güncel Kılavuzlar Eşliğinde*, 493-507.
- Bielawski, A., Zelek-Molik, A., Rafa-Zabłocka, K., Kowalska, M., Gruca, P., Papp, M., ve Nalepa, I. (2023). Elevated expression of HSP72 in the prefrontal cortex and Hippocampus of rats subjected to chronic mild stress and treated with imipramine. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(1), 243.
- Biessels, G. J., ve Despa, F. (2018). Cognitive decline and dementia in diabetes mellitus: mechanisms and clinical implications. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(10), 591-604.
- Bokkon, I. (2012). Recognition of functional roles of free radicals. *Current neuropharmacology*, 10(4), 287.
- Bonnefond, A., Unnikrishnan, R., Doria, A., Vaxillaire, M., Kulkarni, R. N., Mohan, V., ... ve Froguel, P. (2023). Monogenic diabetes. *Nature Reviews Disease Primers*, 9(1), 12.
- Cengiz, S. S., Karaca, K. E., ve Palamutoğlu, M. İ. (2022). Tip 2 Diyabetli Bireylerde Kardiyovasküler Risk Faktörlerinin Bazı Adipozite İndeksleri ve Diyetsel Faktörler ile Değerlendirilmesi. *Izmir Democracy University Health Sciences Journal*, 5(1), 251-269.
- Chen, Y., Meng, Z., Li, Y., Liu, S., Hu, P., ve Luo, E. (2024). Advanced glycation end products and reactive oxygen species: uncovering the potential role of ferroptosis in diabetic complications. *Molecular Medicine*, 30(1), 141.
- Christie, S. M., Hao, J., Tracy, E., Buck, M., Yu, J. S., ve Smith, A. W. (2021). Interactions between semaphorins and plexin–neuropilin receptor complexes in the membranes of live cells. *Journal of Biological Chemistry*, 297(2).
- Çetiner, Ö., ve Rakıcıoğlu, N. (2020). Hiperglisemi, oksidatif Stres ve tip 2 diyabette oksidatif Stres Belirteçlerinin Tanımlanması. *Turkish Journal of Diabetes and Obesity*, 4(1), 60-68.
- Dağcı, S., ve Ören, B. (2024). Gestasyonel Diyabet Risk Faktörleri ve Riskin Belirlenmesinde Ebenin Rolü. *HEMŞİRELİK AKADEMİK ARAŞTIRMA DERGİSİ*, 221.

- Damm, P. (2009). Future risk of diabetes in mother and child after gestational diabetes mellitus. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 104, S25-S26.
- Dho, S. H., Cho, M., Woo, W., Jeong, S., ve Kim, L. K. (2025). Caspases as master regulators of programmed cell death: apoptosis, pyroptosis and beyond. *Experimental & molecular medicine*, 57(6), 1121-1132.
- Ding, J. B., Oh, W. J., Sabatini, B. L., ve Gu, C. (2012). Semaphorin 3E–Plexin-D1 signaling controls pathway-specific synapse formation in the striatum. *Nature neuroscience*, 15(2), 215-223.
- Ding, J. B., Oh, W. J., Sabatini, B. L., ve Gu, C. (2012). Semaphorin 3E–Plexin-D1 signaling controls pathway-specific synapse formation in the striatum. *Nature neuroscience*, 15(2), 215-223. <https://doi.org/10.1038/nn.3003>
- Dinić, S., Arambašić Jovanović, J., Uskoković, A., Mihailović, M., Grdović, N., Tolić, A., ... ve Vidaković, M. (2022). Oxidative stress-mediated beta cell death and dysfunction as a target for diabetes management. *Frontiers in endocrinology*, 13, 1006376.
- Druet, C., Tubiana-Rufi, N., Chevenne, D., Rigal, O., Polak, M., ve Levy-Marchal, C. (2006). Characterization of insulin secretion and resistance in type 2 diabetes of adolescents. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 91(2), 401-404.
- DSÖ. (2025). <https://www.who.int/health-topics/diabetes> Erişim Tarihi: 29.05.2026
- Eleazu, C. O., Eleazu, K. C., Chukwuma, S., ve Essien, U. N. (2013). Review of the mechanism of cell death resulting from streptozotocin challenge in experimental animals, its practical use and potential risk to humans. *Journal of diabetes & metabolic disorders*, 12(1), 60.
- Eroğlu, N. (2019). Diyabetin komplikasyonlarından korunmak için tanı, tedavi ve izlem. *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 4(1), 31-33.
- Evans, J. L., Goldfine, I. D., Maddux, B. A., ve Grodsky, G. M. (2003). Are oxidative stress-activated signaling pathways mediators of insulin resistance and β -cell dysfunction?. *Diabetes*, 52(1), 1-8.
- Fayez, R., ve Gupta, V. (2023). Imipramine. In *StatPearls [Internet]*. StatPearls Publishing.
- Feingold, K. R. (2025). Atypical forms of diabetes. *Endotext*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279128/> Erişim Tarihi: 29.05.2026
- Fernández-Nogueira, P., Linzoain-Agos, P., Cueto-Remacha, M., De la Guia-Lopez, I., Recalde-Percas, L., Parcerisas, A., ... ve Bragado, P. (2024). Role of semaphorins, neuropilins and plexins in cancer progression. *Cancer Letters*, 606, 217308.

- Ghasemi A, Jeddi S. (2023). Streptozotocin as a tool for induction of rat models of diabetes: a practical guide. EXCLI J. 2023 Feb 21;22:274-294. doi: 10.17179/excli2022-5720. PMID: 36998708; PMCID: PMC10043433.
- Goyal, R., Wilson, K., Saharan, A., Gautam, R. K., Chopra, H., Gupta, S., ve Kamal, M. A. (2024). Insights on aspects of apoptosis in neurodegenerative disorders: a comprehensive review. *Exploration of Medicine*, 5(1), 89-100.

CORDYCEPS TÜRLERİNİN BESİN TAKVİYESİ OLARAK KULLANIMININ ELEŞTİREL DEĞERLENDİRİLMESİ: BİYOLOJİK ETKİLER, KANIT DÜZEYİ VE GÜVENLİK SORUNLARI

Dr. Öğr. Üyesi Işıl SARAÇ SİVRİKAYA

Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü

isarac@bingol.edu.tr - 0000-0002-5991-2173

ÖZET

Cordyceps türleri, özellikle *Cordyceps sinensis* ve *Cordyceps militaris*, geleneksel tıpta uzun süredir kullanılan ve günümüzde besin takviyesi olarak yaygın şekilde tüketilen funguslar arasında yer almaktadır. Bu çalışmada *Cordyceps* türlerinin biyolojik özellikleri, içerdiği sekonder metabolitler ve besin takviyesi olarak kullanımına ilişkin etkiler eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Literatürde bu türlere atfedilen antitümör, antioksidan ve immünomodülatör etkilerin büyük ölçüde in vitro ve hayvan çalışmalarına dayandığı, klinik düzeyde ise sınırlı sayıda veri bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca tür doğrulama eksikliği, ham ekstrakt kullanımının yaygınlığı ve ürünler arası içerik farklılıkları, mevcut bulguların güvenilirliğini sınırlayan önemli faktörler olarak öne çıkmaktadır. Doğal kaynaklı ürünlerde kontaminasyon riski ve uzun süreli kullanım verilerinin yetersizliği de güvenlik açısından dikkate alınması gereken hususlar arasındadır. Bu nedenle *Cordyceps* türlerinin besin takviyesi olarak kullanımında temkinli bir yaklaşım benimsenmesi ve gelecekte yapılacak çalışmaların standartizasyon, saf bileşik analizi ve klinik doğrulama üzerine odaklanması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Cordyceps*, besin takviyesi, cordycepin, polisakkaritler, immünomodülasyon, biyolojik aktivite, gıda güvenliği

A CRITICAL EVALUATION OF CORDYCEPS SPECIES AS DIETARY SUPPLEMENTS: BIOLOGICAL EFFECTS, EVIDENCE LEVEL, AND SAFETY CONCERNS

ABSTRACT

Cordyceps species, particularly *Cordyceps sinensis* and *Cordyceps militaris*, have been widely used in traditional medicine and are currently marketed as dietary supplements. In this study, the biological properties, secondary metabolites, and claimed health effects of *Cordyceps* species were critically evaluated with a focus on their use as dietary supplements. The available literature indicates that the reported antitumor, antioxidant, and immunomodulatory activities are largely based on in vitro experiments and animal models, while clinical evidence remains

limited. Furthermore, the lack of taxonomic verification, widespread use of crude extracts, and variability in product composition represent major challenges in the interpretation of existing data. Potential safety concerns, including contamination risks in natural products and the absence of long-term clinical data, should also be considered. Therefore, a cautious and evidence-based approach is necessary when evaluating the use of *Cordyceps* as dietary supplements. Future studies should prioritize standardization, identification of active compounds, and well-designed clinical trials.

Keywords: *Cordyceps*, dietary supplement, cordycepin, polysaccharides, immunomodulation, bioactive compounds, food safety

1. GİRİŞ

Cordyceps türleri, entomopatojenik yaşam döngüleri ve içerdiği biyoaktif bileşikler nedeniyle son yıllarda farmakolojik ve biyoteknolojik araştırmaların önemli bir odağı haline gelmiştir. Özellikle *Cordyceps sinensis* ve *Cordyceps militaris*, geleneksel Çin tıbbında uzun süredir kullanılan ve “turtıl mantarı” olarak bilinen türler arasında yer almakta olup, bu organizmaların sağlık üzerine çeşitli olumlu etkiler gösterebileceği ileri sürülmektedir [1, 2]. Bu türler tarihsel olarak genel sağlık durumunu iyileştirici, bağışıklık sistemini destekleyici ve yaşlanma karşıtı özellikleri ile ilişkilendirilmiş olsa da, bu etkilerin bilimsel temeli uzun süre sınırlı kalmıştır [1].

Cordyceps türleri biyolojik olarak incelendiğinde, çoğunlukla Lepidoptera larvaları üzerinde gelişen zorunlu parazitler olduğu görülmektedir. Enfeksiyon süreci, sporların konak organizmaya girişi ile başlamakta ve miselyal gelişim sonucunda konak dokularının tamamen kolonize edilmesi ile devam etmektedir. Bu süreç sonunda fungus, konak organizmanın ölümüne neden olmakta ve toprak yüzeyine doğru gelişen stroma yapıları aracılığıyla sporlarını yaymaktadır [2, 3]. Bu özgün yaşam döngüsü, *Cordyceps* türlerinin hem ekolojik rolünü hem de sekonder metabolit üretim kapasitesini anlamada önemli bir temel oluşturmaktadır.

Cordyceps türlerinin biyolojik etkileri büyük ölçüde içerdiği sekonder metabolitlere atfedilmektedir. Bu bileşikler arasında özellikle nükleozit türevleri, polisakkaritler, steroller ve çeşitli düşük molekül ağırlıklı bileşikler yer almaktadır [4, 5]. Cordycepin (3'-deoksiadenozin), bu bileşikler arasında en dikkat çekici olanlardan biri olup, ilk olarak *Cordyceps militaris*'ten izole edilmiş ve daha sonra çeşitli biyolojik aktivitelerle ilişkilendirilmiştir [6, 7]. Bunun yanı sıra polisakkaritler, özellikle immünomodülatör ve antioksidan etkilerle ilişkilendirilmiş ve *Cordyceps*'in biyolojik aktivitesinde önemli rol oynadığı öne sürülmüştür [8, 9].

Literatürde *Cordyceps* türlerine atfedilen biyolojik aktiviteler oldukça geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Antitümör, antioksidan, immünomodülatör ve hipoglisemik etkiler en sık rapor edilen aktiviteler arasında yer almaktadır [10, 11]. Özellikle polisakkarit fraksiyonlarının bağışıklık sistemi üzerinde düzenleyici etkiler gösterebildiği ve bazı ekstraktların çeşitli kanser hücre hatlarında antiproliferatif aktivite sergilediği bildirilmektedir [12, 13]. Bununla birlikte, bu çalışmaların önemli bir kısmının in vitro sistemler veya hayvan modellerine dayandığı ve klinik düzeyde doğrulamanın sınırlı olduğu dikkat çekmektedir.

Cordyceps üzerine yapılan araştırmaların artmasına rağmen, bu alanda önemli metodolojik sorunlar bulunmaktadır. Özellikle kullanılan biyolojik materyalin tür düzeyinde doğru tanımlanmamış olması, doğal ve kültür kaynaklı örnekler arasındaki farklılıklar ve ham ekstrakt kullanımının yaygınlığı, elde edilen sonuçların karşılaştırılabilirliğini ve güvenilirliğini azaltmaktadır [14]. Ayrıca, ticari ürünlerde tür doğrulama ve içerik standardizasyonuna ilişkin problemlerin varlığı da literatürde sıklıkla vurgulanmaktadır [15, 16].

Bu bağlamda, *Cordyceps* türlerinin biyolojik aktivitelerine ilişkin mevcut bilgilerin eleştirel bir bakış açısıyla yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı, *Cordyceps* türlerinin biyoaktif bileşenlerini ve bu bileşenlere atfedilen biyolojik etkileri mevcut literatür ışığında incelemek, aynı zamanda bu alandaki temel metodolojik sınırlılıkları ortaya koyarak gelecekte yapılacak çalışmalar için bir çerçeve sunmaktır.

2. CORDYCEPS TÜRLERİNİN BİYOLOJİSİ VE FİTOPATOLOJİK ÖNEMİ

Cordyceps türleri, doğada çoğunlukla entomopatojenik yaşam stratejisi sergileyen ve böcek konaklar üzerinde gelişen özelleşmiş funguslar olarak tanımlanmaktadır. Bu organizmaların biyolojisi, klasik saprofit veya bitki patojeni funguslardan farklı olarak, doğrudan canlı bir konak üzerinde gelişmeye dayanmakta ve bu yönüyle kompleks bir konak-patojen etkileşimini içermektedir [2, 3].

Enfeksiyon süreci genellikle sporların konak organizmanın dış yüzeyine tutunması ile başlamakta, ardından germinasyon ve penetrasyon aşamaları gerçekleşmektedir. Fungus, konak integümentini mekanik ve enzimatik yollarla aşarak hemolenfe ulaşmakta ve burada hızlı bir miselyal proliferasyon süreci başlatmaktadır. Bu aşamada fungusun, konağın bağışıklık yanıtını baskılayabilen veya modüle edebilen çeşitli metabolitler ürettiği düşünülmektedir [1, 15].

Cordyceps türlerinin patojenite süreci yalnızca fiziksel kolonizasyon ile sınırlı olmayıp, aynı zamanda sekonder metabolit üretimi ile yakından ilişkilidir. Özellikle cordycepin gibi nükleozit türevlerinin, hücresel metabolizmayı bozarak konak organizmanın fizyolojik dengesini etkileyebileceği ileri sürülmektedir [6, 7]. Bunun yanı sıra, çeşitli polisakkaritler ve düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin konak bağışıklık sistemi ile etkileşime girerek enfeksiyon sürecine katkı sağlayabileceği bildirilmektedir [4, 5].

Konak organizmanın ölümünden sonra fungus, konak dokularını tamamen kolonize etmekte ve besin kaynağı olarak kullanmaktadır. Bu süreçte konak dokularının büyük ölçüde fungal biyokütleyle dönüştüğü ve sonuçta stroma oluşumunun gerçekleştiği bilinmektedir. Gelişen bu yapı, spor üretimi için gerekli ortamı sağlamakta ve fungusun yaşam döngüsünü tamamlamasına olanak tanımaktadır [2].

Fitopatolojik açıdan değerlendirildiğinde, *Cordyceps* türlerinin sahip olduğu konak özgüllüğü ve enfeksiyon mekanizmaları, bu organizmaların biyolojik mücadele ajanı olarak potansiyelini gündeme getirmektedir. Entomopatojenik fungusların tarımsal zararlılarla mücadelede kullanımı uzun süredir araştırılmakta olup, *Cordyceps* türlerinin de bu kapsamda değerlendirilebileceği belirtilmektedir [17, 16]. Ancak bu potansiyelin uygulanabilirliği, fungusun çevresel adaptasyon kapasitesi, konak aralığı ve üretim teknikleri gibi faktörlere bağlıdır.

Bununla birlikte, *Cordyceps* türlerinin doğal populasyonları üzerinde yapılan çalışmalar, bu organizmaların yüksek ekonomik değeri nedeniyle aşırı toplanmaya maruz kaldığını ve doğal kaynakların sürdürülebilirliği açısından risk altında olduğunu göstermektedir [15]. Bu durum, hem biyolojik çeşitliliğin korunması hem de kontrollü üretim sistemlerinin geliştirilmesi açısından önemli bir gereklilik ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, *Cordyceps* türleri yalnızca farmakolojik açıdan değil, aynı zamanda konak–patojen etkileşimleri, sekonder metabolit üretimi ve biyolojik mücadele potansiyeli açısından da fitopatoloji ve mikoloji alanlarında önemli bir araştırma modeli olarak değerlendirilebilir.

3. CORDYCEPS TÜRLERİNDE SEKONDER METABOLİTLER: BİYOLOJİK ROL VE FİTOPATOLOJİK YORUM

Cordyceps türlerinde tanımlanan sekonder metabolitler, yalnızca farmakolojik etkiler açısından değil, aynı zamanda bu organizmaların konak–patojen etkileşimleri bağlamında değerlendirilmesi gereken önemli bileşenlerdir. Bu fungusların böcek konaklar üzerinde başarılı bir şekilde gelişebilmesi, büyük ölçüde ürettikleri metabolitlerin konak fizyolojisi üzerindeki etkilerine bağlıdır. Bu nedenle *Cordyceps* metabolitleri, yalnızca “biyoaktif bileşikler” olarak değil, aynı zamanda patojenite araçları olarak da ele alınmalıdır.

3.1. Nükleozit Türevleri: Metabolik Müdahale ve Konak Baskılama

Cordyceps türlerinden izole edilen en dikkat çekici bileşiklerden biri olan cordycepin (3'-deoksiadenozin), ilk olarak *Cordyceps militaris* kültürlerinden tanımlanmıştır [6, 7]. Bu bileşik, RNA sentezine katılarak zincir uzamasını durdurabilme özelliğine sahiptir ve bu yönüyle hücrel metabolizma üzerinde doğrudan etkili olabilmektedir.

Fitopatolojik açıdan değerlendirildiğinde, bu tür bir mekanizma, fungusun konak organizma üzerinde sistemik bir baskı kurabilmesine olanak sağlayabilir. Özellikle hızlı bölünen hücrelerde RNA sentezinin inhibe edilmesi, konak gelişimini ve bağışıklık yanıtını zayıflatabilecek bir strateji olarak yorumlanabilir. Bununla birlikte, cordycepin'in doğal enfeksiyon sürecindeki gerçek rolü henüz tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır ve bu bileşiğin doğrudan patojenite faktörü olarak mı yoksa ikincil metabolik ürün olarak mı işlev gördüğü tartışmalıdır [18].

3.2. Polisakkaritler: Doğrudan Toksisite Yerine Modülasyon

Cordyceps türlerinde yaygın olarak bulunan polisakkaritler, literatürde genellikle immünomodülatör ve antioksidan etkilerle ilişkilendirilmektedir [8, 5]. Ancak bu bileşiklerin fitopatolojik açıdan değerlendirilmesi, farklı bir bakış açısını gerektirmektedir.

Polisakkaritlerin doğrudan toksik etkilerden ziyade biyolojik sistemleri düzenleyici özellikler göstermesi, bunların konak organizma ile daha “ince ayarlı” bir etkileşim kurduğunu düşündürmektedir. Entomopatojenik funguslar açısından bu durum, konağın tamamen hızlı bir şekilde öldürülmesinden ziyade, belirli bir süre canlı tutulmasını sağlayarak fungal gelişimin optimize edilmesi şeklinde yorumlanabilir. Bu bağlamda polisakkaritlerin, konak bağışıklık sistemini baskılamak veya yönlendirmek suretiyle enfeksiyon sürecine dolaylı katkı sağladığı düşünülebilir [12, 19].

3.3. Steroller ve Yaygın Fungal Metabolitler: Spesifiklik Problemi

Cordyceps türlerinde ergosterol ve türevleri gibi birçok yaygın fungal metabolit de tanımlanmıştır [5, 14]. Bu bileşiklerin çeşitli biyolojik aktivitelerle ilişkilendirilmiş olması, *Cordyceps*'in farmakolojik potansiyeline katkı sağlıyor gibi görünse de, bu durum önemli bir yorum problemine işaret etmektedir.

Ergosterol gibi bileşiklerin birçok fungus türünde bulunması, bu metabolitlerin *Cordyceps*'e özgü biyolojik etkilerinin ayrıştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, *Cordyceps*'e atfedilen bazı biyolojik aktivitelerin aslında genel fungal metabolizmanın bir sonucu olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durum, özellikle ekstrakt bazlı çalışmalarda sonuçların yorumlanmasını güçleştiren önemli bir faktördür.

3.4. Metabolit Çeşitliliği ve Üretim Koşulları

Cordyceps türlerinde metabolit üretiminin, kullanılan suş, konak tipi ve kültür koşullarına bağlı olarak önemli değişkenlik gösterdiği bilinmektedir [14, 20]. Doğal örnekler ile kültür ortamında elde edilen miselyal ürünler arasında kimyasal içerik bakımından farklılıklar bulunması, standartizasyon açısından önemli bir sorundur.

Bu durum fitopatolojik açıdan değerlendirildiğinde, metabolit üretiminin yalnızca genetik faktörlere değil, aynı zamanda çevresel koşullara ve konak etkileşimine bağlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla *Cordyceps* metabolitleri, sabit bir kimyasal profil yerine dinamik bir adaptasyon mekanizmasının ürünü olarak değerlendirilmelidir.

4. CORDYCEPS TÜRLERİNİN BESİN TAKVİYESİ OLARAK KULLANIMI: BİYOLOJİK ETKİLER VE KANIT DÜZEYİ

Cordyceps türleri, özellikle *Cordyceps sinensis* ve *Cordyceps militaris*, geleneksel tıpta uzun süredir kullanılan ve günümüzde besin takviyesi olarak yaygın şekilde pazarlanan funguslar arasında yer almaktadır. Bu kullanım, büyük ölçüde bu organizmalara atfedilen geniş biyolojik etki spektrumuna dayanmaktadır. Bununla birlikte, bu etkilerin bilimsel temeli incelendiğinde, mevcut kanıtların önemli bir kısmının deneysel çalışmalarla sınırlı olduğu ve klinik doğrulamanın çoğu durumda yetersiz kaldığı görülmektedir [1, 11].

4.1. Antitümör Etkiler: Deneysel Bulgular ve Sınırlılıklar

Cordyceps türlerinden elde edilen ekstraktlar ve bazı izole bileşiklerin, çeşitli kanser hücre hatlarında antiproliferatif etkiler gösterebildiği birçok çalışmada rapor edilmiştir. Özellikle cordycepin'in tümör hücrelerinde apoptozu indükleyebildiği ve hücre döngüsünü baskılayabildiği belirtilmektedir [21, 22]. Bunun yanı sıra, bazı polisakkarit fraksiyonlarının bağışıklık sistemi aracılığıyla dolaylı antitümör etkiler oluşturabileceği de öne sürülmüştür [13].

Ancak bu bulguların büyük çoğunluğu in vitro deneyler veya hayvan modellerine dayanmaktadır. İnsanlarda gerçekleştirilen kontrollü klinik çalışmaların sınırlı olması, bu etkilerin doğrudan terapötik olarak yorumlanmasını güçleştirmektedir. Ayrıca kullanılan

ekstraktların bileşimi ve konsantrasyonu arasında önemli farklılıklar bulunması, sonuçların karşılaştırılabilirliğini azaltan bir diğer faktördür.

4.2. Antioksidan Aktivite: Ekstrakt Bağımlı Etkiler

Cordyceps türlerinin antioksidan özellikleri, özellikle polisakkarit içeriği ile ilişkilendirilmektedir. Doğal ve kültür ortamında elde edilen örneklerde serbest radikal temizleme kapasitesinin bulunduğu çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir [8, 9]. Bununla birlikte, antioksidan etkinin büyük ölçüde kullanılan ekstraktın hazırlanma yöntemi ve bileşimine bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Bu durum, *Cordyceps*'in antioksidan etkisinin standart bir özellik olarak değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Farklı çalışmalarda kullanılan materyallerin kimyasal içerik bakımından heterojen olması, elde edilen sonuçların genellenmesini sınırlamaktadır.

4.3. İmmünomodülatör Etkiler: Fayda ve Olası Risk Dengesi

Cordyceps türlerinin en sık vurgulanan etkilerinden biri bağışıklık sistemi üzerindeki düzenleyici rolüdür. Makrofaj aktivasyonunu artırma, sitokin üretimini etkileme ve T lenfosit yanıtını modüle etme gibi etkiler çeşitli deneysel çalışmalarda rapor edilmiştir [10, 23].

Bu etkiler, belirli durumlarda potansiyel fayda sağlayabilirken, bağışıklık sisteminin aşırı uyarılması veya dengesiz modülasyonu bazı riskleri de beraberinde getirebilir. Özellikle otoimmün hastalıklar veya immün sistemin hassas olduğu klinik durumlarda, bu tür etkilerin dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, bu potansiyel risklere ilişkin klinik veriler sınırlıdır ve mevcut bilgiler büyük ölçüde deneysel bulgulara dayanmaktadır.

4.4. Antifatigue ve Metabolik Etkiler: Sınırlı Kanıt

Cordyceps türlerinin fiziksel performansı artırıcı ve yorgunluk giderici etkileri olduğu da literatürde sıkça yer almaktadır. Bazı çalışmalarda, *Cordyceps* ekstraktlarının enerji metabolizmasını destekleyebileceği ve stres koşullarında dayanıklılığı artırdığı bildirilmiştir [24].

Ancak bu etkilerin çoğu hayvan deneylerine dayanmaktadır ve insan çalışmalarında tutarlı ve güçlü kanıtlar bulunmamaktadır. Bu nedenle, *Cordyceps*'in performans artırıcı bir takviye olarak değerlendirilmesi şu aşamada sınırlı bilimsel destekle mümkündür.

5. GÜVENLİK, RİSKLER VE ÜRÜN KALİTESİ İLE İLİŞKİLİ PROBLEMLER

Cordyceps türleri genellikle “doğal” ve “güvenli” ürünler olarak pazarlanmakla birlikte, bu algı her zaman bilimsel verilerle tam olarak örtüşmemektedir. Özellikle besin takviyesi olarak kullanılan ürünlerin üretim süreci, içerik standardizasyonu ve ham madde kaynağı dikkate alındığında, çeşitli güvenlik ve kalite problemleri gündeme gelmektedir.

5.1. Tür Doğrulama ve Taksonomik Belirsizlikler

Cordyceps ürünleri ile ilgili en temel sorunlardan biri, kullanılan biyolojik materyalin tür düzeyinde doğru şekilde tanımlanmamış olmasıdır. Doğal olarak toplanan örnekler ile kültür ortamında üretilen miselyal ürünler arasında önemli biyolojik ve kimyasal farklılıklar

bulunabilmektedir. Ayrıca, bazı ticari ürünlerde *Cordyceps sinensis* yerine benzer morfolojik özelliklere sahip farklı türlerin veya taklit ürünlerin kullanıldığı bildirilmiştir [14].

Bu durum, ürünlerin biyolojik etkinliği kadar güvenilirliği açısından da önemli bir sorun teşkil etmektedir. Tür farklılıklarına bağlı olarak sekonder metabolit profili değişebileceği için, tüketilen ürünün beklenen etkiyi göstermemesi veya farklı etkiler oluşturmaları mümkündür.

5.2. Doğal Kaynaklı Ürünlerde Kontaminasyon Riski

Doğadan toplanan *Cordyceps* örnekleri, çevresel koşullara bağlı olarak çeşitli kontaminantları içerebilir. Özellikle toprak kaynaklı ağır metallerin veya diğer çevresel kirleticilerin fungal biyokütlede birikebildiği bilinmektedir [25]. Bu durum, uzun süreli kullanımda potansiyel toksik etkilere yol açabilecek bir risk faktörü olarak değerlendirilmelidir.

Bunun yanı sıra, doğal örneklerin mikrobiyal kontaminasyon riski de göz ardı edilmemelidir. Hasat, kurutma ve depolama koşullarının kontrolsüz olduğu durumlarda, ürün kalitesi önemli ölçüde etkilenebilir.

5.3. Kültür Ürünleri ve Doğal Ürünler Arasındaki Farklılıklar

Cordyceps türlerinin kontrollü koşullarda üretilmesi, doğal kaynaklara olan baskıyı azaltmak açısından önemli bir avantaj sağlamakla birlikte, bu ürünlerin kimyasal bileşimi doğal örneklerden farklılık gösterebilmektedir. Özellikle miselyal kültür ürünlerinde bazı biyoaktif bileşiklerin miktarının daha düşük veya farklı oranlarda olduğu rapor edilmiştir [14, 8].

Bu farklılıklar, besin takviyesi olarak kullanılan ürünlerin etkinliği açısından belirsizlik yaratmakta ve standardizasyon ihtiyacını ortaya koymaktadır. Üretim koşullarının optimize edilmesi ve ürün içeriğinin analitik yöntemlerle doğrulanması, bu alandaki en önemli gereklilikler arasında yer almaktadır.

5.4. Ekstrakt Kullanımı ve Standartizasyon Problemi

Cordyceps üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmında ham ekstraktların kullanılması, hem bilimsel hem de ticari açıdan önemli bir sorun oluşturmaktadır. Ekstraktların bileşimi; kullanılan solvent, ekstraksiyon yöntemi ve başlangıç materyaline bağlı olarak önemli ölçüde değişebilmektedir. Bu durum, farklı çalışmalar arasında sonuçların karşılaştırılmasını zorlaştırmakta ve ürünlerin etkinliğine ilişkin net bir değerlendirme yapılmasını engellemektedir.

Ayrıca ticari ürünlerde etiketlenen aktif bileşik miktarlarının her zaman doğrulanmadığı ve içerik açısından değişkenlik gösterebildiği de literatürde vurgulanmaktadır [15]. Bu durum, tüketici güvenliği açısından dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.

5.5. Uzun Süreli Kullanım ve Klinik Veri Eksikliği

Cordyceps türlerinin besin takviyesi olarak uzun süreli kullanımına ilişkin klinik veriler sınırlıdır. Mevcut çalışmaların çoğu kısa süreli veya deneysel düzeyde olup, kronik kullanımın olası etkilerine dair yeterli veri bulunmamaktadır [11].

Bu nedenle, *Cordyceps* ürünlerinin özellikle düzenli ve yüksek dozda kullanımında dikkatli olunması gerektiği ve daha kapsamlı klinik çalışmaların gerekli olduğu açıktır.

6. DEĞERLENDİRME

Cordyceps türleri üzerine yapılan çalışmalar, bu organizmaların hem biyolojik hem de farmakolojik açıdan dikkate değer bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Ancak mevcut literatür bütüncül olarak değerlendirildiğinde, bu potansiyelin büyük ölçüde deneysel bulgulara dayandığı ve özellikle besin takviyesi olarak kullanımına ilişkin kanıtların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu durum, *Cordyceps*'in yaygın kullanımına rağmen bilimsel temelde hâlâ önemli belirsizlikler içerdiğini ortaya koymaktadır.

Cordyceps türlerinin biyolojik etkilerine ilişkin en dikkat çekici noktalardan biri, bu etkilerin büyük ölçüde sekonder metabolitlere dayandırılmasıdır. *Cordyceps* ve çeşitli polisakkarit fraksiyonları, birçok çalışmada biyolojik aktivite ile ilişkilendirilmiş olmakla birlikte, bu bileşiklerin doğal enfeksiyon sürecindeki rolü ile insan sağlığı üzerindeki etkileri arasındaki bağlantı henüz tam olarak netleşmiş değildir. Özellikle metabolit üretiminin tür, konak ve çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik göstermesi, *Cordyceps* kaynaklı ürünlerin standart bir etki profiline sahip olmasını zorlaştırmaktadır [14, 20].

Besin takviyesi olarak kullanım açısından değerlendirildiğinde, *Cordyceps* türlerine atfedilen antitümör, antioksidan ve immünomodülatör etkilerin büyük ölçüde *in vitro* ve hayvan çalışmalarına dayandığı görülmektedir. Bu durum, söz konusu etkilerin insan sağlığına doğrudan aktarılabilirliğini sınırlamaktadır. Ayrıca kullanılan ekstraktların bileşimindeki değişkenlik ve farklı çalışmalar arasında metodolojik uyumsuzluklar, elde edilen sonuçların genellenmesini güçleştirmektedir. Bu bağlamda, *Cordyceps*'in terapötik potansiyelinin daha güvenilir şekilde ortaya konulabilmesi için kontrollü klinik çalışmalara ihtiyaç olduğu açıktır [11].

Fitopatolojik açıdan değerlendirildiğinde ise *Cordyceps* türleri, konak-patojen etkileşimleri ve sekonder metabolit üretim stratejileri bakımından önemli bir model organizma niteliği taşımaktadır. Bu organizmaların konak fizyolojisini modüle edebilme kapasitesi, yalnızca enfeksiyon sürecinin anlaşılması açısından değil, aynı zamanda biyolojik mücadele uygulamaları açısından da potansiyel sunmaktadır. Bununla birlikte, bu potansiyelin uygulamaya aktarılabilmesi için tür özgüllüğü, çevresel adaptasyon ve üretim teknikleri gibi faktörlerin daha ayrıntılı şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Cordyceps ürünlerinin güvenliği açısından değerlendirildiğinde ise, en önemli sorunların başında tür doğrulama eksikliği, kontaminasyon riski ve standardizasyon problemleri gelmektedir. Özellikle doğal kaynaklardan elde edilen ürünlerde ağır metal birikimi ve mikrobiyal kontaminasyon olasılığı, uzun süreli kullanım açısından dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir [25]. Ayrıca ticari ürünlerde içerik doğruluğuna ilişkin belirsizlikler, tüketici güvenliği açısından önemli bir risk oluşturmaktadır.

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, *Cordyceps* türlerinin mevcut literatürde sıklıkla vurgulanan “çok yönlü faydalı” profilinin, dikkatli bir bilimsel değerlendirme gerektirdiği anlaşılmaktadır. Mevcut veriler, bu organizmaların biyolojik olarak aktif bileşikler içerdiğini

açıkça ortaya koymakla birlikte, bu bileşiklerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin kesin ve genellenebilir olduğu söylenemez. Bu nedenle *Cordyceps*'in besin takviyesi olarak kullanımında, özellikle ürün kalitesi ve bilimsel kanıt düzeyi dikkate alınarak temkinli bir yaklaşım benimsenmesi gerekmektedir.

7. SONUÇ

Cordyceps türleri, içerdiği sekonder metabolitler ve özgün biyolojik özellikleri nedeniyle hem farmakolojik hem de biyoteknolojik açıdan önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Mevcut literatür, bu organizmaların antitümör, antioksidan ve immünomodülatör etkiler gösterebildiğine işaret etmekle birlikte, bu etkilerin büyük ölçüde deneysel çalışmalarla sınırlı olduğu ve klinik düzeyde yeterince doğrulanmadığı görülmektedir.

Besin takviyesi olarak kullanım açısından değerlendirildiğinde, *Cordyceps* ürünlerine atfedilen faydaların önemli bir kısmının standartize edilmemiş ekstraktlara dayandığı, tür doğrulama ve içerik kontrolüne ilişkin problemlerin ise bu alandaki en önemli sınırlılıklar arasında yer aldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca doğal kaynaklı ürünlerde kontaminasyon riski ve uzun süreli kullanıma ilişkin veri eksikliği, güvenlik değerlendirmelerinde dikkate alınması gereken temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Bu çerçevede, *Cordyceps* türlerinin biyolojik potansiyelinin güvenilir şekilde ortaya konulabilmesi için gelecekte yapılacak çalışmaların; tür doğrulaması yapılmış materyallerin kullanımı, saf bileşik düzeyinde analizler ve kontrollü klinik araştırmalar üzerine odaklanması gerekmektedir. Aynı zamanda ürün standardizasyonunun sağlanması ve kalite kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi, bu organizmaların güvenli ve etkili şekilde kullanılabilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, *Cordyceps* türleri umut verici bir biyolojik kaynak olmakla birlikte, mevcut bilimsel veriler bu organizmaların besin takviyesi olarak kullanımında temkinli ve kanıta dayalı bir yaklaşımın benimsenmesi gerektiğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Zhu, J. S., Halpern, G. M., Jones, K. The scientific rediscovery of an ancient Chinese herbal medicine: *Cordyceps sinensis*: Part I. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 4(3), 289–303, 1998.
- [2] Pegler, D. N., Yao, Y. J., Li, Y. The Chinese ‘caterpillar fungus’. *Mycologist*, 8(1), 3–5, 1994.
- [3] Shrestha, B., Zhang, W., Zhang, Y., Liu, X. *The medicinal fungus Cordyceps militaris: research and development*. *Mycological Progress*, 11, 599–614, 2012.

- [4] Shashidhar, G. M., Giridhar, P., Manohar, B. Functional polysaccharides from medicinal mushroom *Cordyceps sinensis* as a potent food supplement: extraction, characterization and therapeutic potentials – a systematic review. *RSC Advances*, 5, 107161–107177, 2015.
- [5] Liu, Y., Wang, J., Wang, W., Zhang, H., Zhang, X., & Han, C. (2015). The Chemical Constituents and Pharmacological Actions of *Cordyceps sinensis*. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015.
- [6] Cunningham, K. G., Manson, W., Spring, F. S., Hutchinson, S. A. Cordycepin, a metabolic product from cultures of *Cordyceps militaris* (Linn.) Link. Part I. Isolation and characterization. *Journal of the Chemical Society*, 2299–2300, 1951.
- [7] Kaczka, E. A., Trenner, N. R., Arison, B., Walker, R. W., Folkers, K. Identification of cordycepin, a metabolite of *Cordyceps militaris*, as 3'-deoxyadenosine. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 14(5), 456–457, 1964.
- [8] Li, S. P., Zhao, K. J., Ji, Z. N., Song, Z. H., Dong, T. T. X., Lo, C. K., Cheung, J. K. H., Zhu, S. Q. Tsim, K. W. K. A polysaccharide isolated from *Cordyceps sinensis* protects PC12 cells against hydrogen peroxide-induced injury. *Life Sciences*, 73(19), 2503–2513, 2001.
- [9] Yu, R. M., Yin, Y., Yang, W., Ma, W. L., Yang, L., Chen, X. J., Zhang, Z., Ye, B. Structural characterization and antioxidant activity of a polysaccharide from the fruiting bodies of cultured *Cordyceps militaris*. *Carbohydrate Polymers*, 70(4), 430–436, 2007.
- [10] Kuo, Y. C., Tsai, W. J., Shiao, M. S., Chen, C. F., & Lin, C. Y. *Cordyceps sinensis* as an immunomodulatory agent. *The American Journal of Chinese Medicine*, 24(2), 111–125, 1996.
- [11] Ng, T. B., Wang, H. X. Pharmacological actions of *Cordyceps*, a prized folk medicine. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 57(12), 1509–1519, 2005.
- [12] Yu, R. M., Yang, W., Song, L. Y., Yan, C. Y., Zhang, Z., Zhao, Y. Isolation, purification and identification of polysaccharides from cultured *Cordyceps militaris*. *Fitoterapia*, 75(7–8), 662–666, 2004.
- [13] Zhang, Q. X., Wu, J. Y. *Cordyceps sinensis* mycelium extract induces human promyelocytic leukemia cell apoptosis through mitochondrion pathway. *Experimental Biology and Medicine*, 232(1), 52–57, 2007.
- [14] Hsu, T. H., Shiao, L. H., Hsieh, C., Chang, D. M. A comparison of the chemical composition and bioactive ingredients of the Chinese medicinal mushroom DongChongXiaCao, its counterfeit and mimic, and fermented mycelium of *Cordyceps sinensis*. *Food Chemistry*, 78(4), 463–469, 2002.
- [15] Yan, J. K., Wang, W. Q., & Wu, J. Y. Recent advances in *Cordyceps sinensis* polysaccharides: Mycelial fermentation, isolation, structure, and bioactivities: A review. *Journal of functional foods*, 6, 33–47, 2014.

- [16] Liang, Z. Q. Current Situation and Ponderation of *Cordyceps* Fr. Research and Exploitation in China. *Acta Edulis Fungi*, 8(2), 53–62, 2001
- [17] Wu, W., Hu, J., Li, Y. Review on studies and applications of *Cordyceps militaris*. *Acta Agriculturae Shanghai*, 16, 99–104, 2000.
- [18] Li, S. P., Li, P., Ji, H., Zhang, P., Dong, T. T. X., & Tsim, K. W. K. (2001). The nucleotides contents and their variation in natural *Cordyceps sinensis* and cultured *Cordyceps mycelia*. *Journal of Chinese Pharmaceutical Sciences*, 10, 175–179, 2001.
- [19] Kiho, T., Hui, J., Yamane, A., Ukai, S. Polysaccharides in fungi. XXXII. Hypoglycemic activity and chemical properties of a polysaccharide from the cultured mycelium of *Cordyceps sinensis*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 16(12), 1291–1293, 1993.
- [20] Wen, L., Huang, L. F., Li, S. P., Zhao, K. J. Optimization of *Cordyceps militaris* cultivation for high production of cordycepin and adenosine. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 21, 359–363, 2005.
- [21] Jagger, D. V., Kredich, N. M., Guarino, A. J. Inhibition of Ehrlich mouse ascites tumor growth by cordycepin. *Cancer Research*, 21(2), 216–220, 1961.
- [22] Koç, Y., Urbano, A. G., Sweeney, E. B., McCaffrey, R. Induction of apoptosis by cordycepin in ADA-inhibited TdT-positive leukemia cells. *Leukemia*, 10(6), 1019–1024, 1996.
- [23] Koh, J. H., Yu, K. W., Suh, H. J., Cho, Y. M., & Ahn, T. S. (2002). *Activation of macrophage and intestinal immune system by orally administered decoction from cultured mycelia of Cordyceps sinensis*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 66(2), 407–411, 2002.
- [24] Koh, J. H., Kim, K. M., Kim, J. M., Song, J. C., & Suh, H. J. (2003). *Antifatigue and antistress effect of the hot-water fraction from mycelia of Cordyceps sinensis*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 26(5), 691–694, 2003.
- [25] Zhou, L., Wang, S., Hao, Q., Kang, L., Kang, C., Yang, J., Yang, W., Jiang, J., Huang, L. Q., Guo, L. *Bioaccessibility and risk assessment of heavy metals, and analysis of arsenic speciation in Cordyceps sinensis*. *Chinese Medicine*, 13, 40, 2018.

TÜRKİYE'DE KABUKLU MEYVE TÜRLERİNDE GÖRÜLEN FUNGAL HASTALIK ETMENLERİNİN BÖLGESEL DAĞILIMI

Doç. Dr. Abdullah GÜLLER

Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü
aguller@bingol.edu.tr – 0000-0003-2828-0035

Dr. Öğr. Üyesi Işıl SARAÇ SİVRİKAYA

Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü
isarac@bingol.edu.tr - 0000-0002-5991-2173

ÖZET

Türkiye’de üretilen kabuklu meyve ve kuruyemişler, fungal hastalıkların neden olduğu ciddi tehditlerle karşı karşıyadır. Bu çalışma, son 25 yılın literatürüne dayanarak, ülkenin farklı bölgelerinde tespit edilen fitopatojenik fungusları özetlemektedir. Güneydoğu Anadolu’dan Karadeniz’e kadar geniş bir coğrafi yelpazede incelenen hastalık etmenleri arasında *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Lasiodiplodia* ve *Neoscytalidium* gibi cinsler öne çıkmaktadır. Özellikle Antep fıstığı, kestane, fındık, badem ve ceviz gibi ürünlerde görülen bu patojenler, kök çürüklüğü, kanser, yaprak lekesi gibi çeşitli hastalıklara yol açarak ürün kayıplarına neden olmaktadır. Literatür taraması, bu ürünlerde görülen hastalıkların tür çeşitliliği ve bölgesel dağılımı konusunda kapsamlı bilgi sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kabuklu meyveler, fungal hastalıklar, fitopatojenik funguslar, Türkiye

REGIONAL DISTRIBUTION OF FUNGAL PATHOGENS AFFECTING NUT CROP SPECIES IN TÜRKİYE

ABSTRACT

Nut crops produced in Türkiye face significant threats from fungal diseases. This study provides a comprehensive review of phytopathogenic fungi identified in different regions of the country over the past 25 years. Pathogens such as *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Lasiodiplodia*, and *Neoscytalidium* are prominent across a wide geographical range, from Southeastern Anatolia to the Black Sea region. These fungi have been associated with various

diseases, including root rot, canker, and leaf spot, affecting key crops such as pistachios, chestnuts, hazelnuts, almonds, and walnuts. The review offers extensive insights into the diversity of fungal pathogens and their regional distribution in these crops.

Keywords: Nut crops, fungal diseases, phytopathogenic fungi, Türkiye

1. GİRİŞ

Kabuklu meyveler ve kuruyemişler, dünya genelinde tarım ekonomisinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Badem, ceviz, fındık, Antep fıstığı ve kestane gibi ürünler, yüksek besin değerleri ve ekonomik getirileriyle hem üreticiler hem de tüketiciler için stratejik öneme sahiptir. Türkiye, İtalya, ABD ve Çin gibi ülkeler, bu ürünlerin üretim ve ticaretinde lider konumda yer alırken, dünya çapında milyonlarca insanın geçim kaynağını oluşturmaktadır [1]. Ancak, kabuklu meyve üretimi, çeşitli fungal patojenlerin neden olduğu hastalıklar nedeniyle ciddi tehdit altındadır. Fungal patojenler, hem ürün kalitesini hem de verimliliği etkileyerek ekonomik kayıplara yol açmaktadır [2]. Türkiye'de yapılan araştırmalarda, özellikle *Fusarium*, *Alternaria*, *Botrytis*, *Lasiodiplodia* ve *Neoscytalidium* gibi cinslerin yaygın olduğu tespit edilmiştir [3, 4].

Benzer şekilde, dünya genelinde de bu patojenlerin etkileri rapor edilmiştir. Fungal patojenlerin etkisi yalnızca Türkiye ile sınırlı kalmamaktadır. Dünya genelinde ceviz ve badem gibi kabuklu meyve türlerinde çeşitli fungal patojenler önemli ekonomik kayıplara neden [5, 6]. *Botryosphaeriaceae* üyeleri, özellikle Akdeniz ikliminin hâkim olduğu bölgelerde çeşitli odunsu bitkilerde kanser ve geriye ölüm hastalıklarına neden olmaktadır [7].

Bu patojenler, ekolojik koşullara bağlı olarak farklı bölgelerde farklı hastalıklara neden olmakta ve bölgesel mücadele stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Örneğin, Akdeniz iklimine sahip bölgelerde, yüksek nem ve sıcaklık, *Botryosphaeria* spp. gibi patojenlerin yayılmasını hızlandırmaktadır [7]. Aynı şekilde, ABD'nin Kaliforniya bölgesinde, *Phytophthora ramorum* gibi kök çürüklüğüne neden olan patojenler, ceviz ağaçlarında ciddi hasarlara yol açmaktadır [8]. Bu fungal patojenlerle mücadelede, biyolojik ve kimyasal kontrol yöntemlerinin entegrasyonu büyük önem taşımaktadır. *Trichoderma* türleri birçok tarımsal üretim sisteminde biyokontrol ajanı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [9]. Ayrıca, dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi ve uygun kültürel uygulamaların benimsenmesi, sürdürülebilir üretim için kritik bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, kabuklu meyve ve kuruyemiş üretiminde sürdürülebilirliği sağlamak için küresel düzeyde fungal patojenlerin etkilerinin daha iyi anlaşılması ve etkili mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, mevcut literatüre dayanarak, kabuklu meyvelerde görülen fungal patojenlerin çeşitliliği ve bölgesel dağılımı hakkında kapsamlı bir özet sunmaktadır.

2. TÜRKİYE’DE KABUKLU MEYVELERDE TESPİT EDİLEN FİTOPATOJENİK FUNGUSLAR

Türkiye, kabuklu meyve üretiminde dünya genelinde önemli bir yere sahiptir. Ancak, bu ürünler çeşitli fitopatojenik fungusların neden olduğu hastalıklardan olumsuz etkilenmektedir. Farklı bölgelerde gözlemlenen bu patojenler, hem kalite hem de verim kaybına yol açmaktadır. Bu başlık altında, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde kabuklu meyveleri etkileyen başlıca fitopatojenik fungus türleri incelenmiştir.

Çizelge 1. Kabuklu Meyvelerde Tespit Edilen Hastalık Etmenleri ve İlişkili Funguslar

BÖLGE/İL	ETMEN	KONAK	REFERANS
Güneydoğu Anadolu	<i>Septoria pistacina</i> <i>Verticillium dahliae</i> <i>Alternaria alternata</i> <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Penicillium spp.</i> <i>Uromyces terebinthi</i>	Antep fıstığı	[10]
Düzce	<i>Gnomoniopsis smithogilvyi</i> <i>Diplodia castanea</i> <i>Botrytis cinerea</i> <i>Aureobasidium sp.</i> <i>Alternaria alternata</i> <i>Alternaria tenuissima</i> <i>Penicillium spp.</i> <i>Trichoderma sp.</i> <i>Cladosporium sp.</i> <i>Cylindrocarpon sp.</i>	Kestane	[11]

	<i>Mucor sp.</i> <i>Rhizopus stolonifer</i>		
Ordu Giresun Trabzon	<i>Pestalotiopsis sp.</i>	Fındık	[3]
Siirt	<i>Fusarium solani</i> <i>Fusarium oxysporum</i> <i>Fusarium brachygibbosum</i> <i>Fusarium chlamydosporum</i> <i>Macrophomina phaseolina</i>	Antep fıstığı	[12]
Siirt	<i>Phytophthora palmivora</i>	Antep fıstığı	[13]
Yozgat	<i>Diplodia seriata</i> <i>Lasioidiplodia theobromae</i> <i>Neofusicoccum parvum</i> <i>Botryosphaeria dothidea</i>	Badem	[14]
Balıkesir	<i>Fusarium spp.</i> <i>Alternaria spp.</i>	Ceviz	[15]
Ordu Giresun Trabzon	<i>Colletotrichum fioriniae</i>	Fındık	[16]
Isparta	<i>Polystigma ochraceum</i> <i>Wilsonomyces carpophilus</i> <i>Phellinus tuberculosus</i>	Badem	[17]
İzmir Manisa	<i>Phytophthora spp.</i> <i>Cytospora spp.</i>	Kestane	[18]

Kütahya Balıkesir			
Marmara	<i>Fusarium equiseti</i> <i>Fusarium verticillioides</i> <i>Alternaria alternata</i>	Ceviz	[19]
Şanlıurfa	<i>Lasioidiplodia theobromae</i>	Badem	[20]
Şanlıurfa	<i>Neoscytalidium dimidiatum</i>	Antep fıstığı	[4]
Şanlıurfa	<i>Neoscytalidium dimidiatum</i>	Ceviz	[21]
Diyarbakır	<i>Neoscytalidium novaehollandiae</i>	Badem	[22]
Ordu Giresun Trabzon	<i>Botrytis cinerea</i>	Fındık	[23]
Düzce	<i>Erysiphe sp.</i> <i>Phyllactinia guttata</i>	Fındık	[24]
Hatay	<i>Botryosphaeria dothidea</i>	Ceviz	[25]
Ordu Giresun Trabzon	<i>Colletotrichum acutatum</i>	Fındık	26]
Türkiye	<i>Pestalotiopsis guepinii</i>	Fındık Ceviz	[27]

NOT: Literatür taramalarına bildiriler ve tezler dahil edilmemiştir.

NOT: Son 25 yılın verileri dikkate alınmıştır.

3. SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye’deki kabuklu meyve ve kuruyemişlerde tespit edilen fitopatojenik fungal hastalıkların kapsamlı bir taramasını sunmaktadır. Çeşitli bölgelerde yapılan çalışmalar, özellikle *Fusarium*, *Alternaria*, *Botrytis*, *Lasioidiplodia* ve *Neoscytalidium* gibi fungusların

yaygınlığını ortaya koymuştur. Bu patojenler, kök çürüklüğü, kanser ve yaprak lekesi gibi hastalıklarla ürün kalitesini ve verimini ciddi şekilde tehdit etmektedir.

Çalışma alanları belirli bölgelerle sınırlı olsa da, elde edilen veriler, bu fungal hastalıkların Türkiye'nin diğer bölgelerinde de var olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, her bölgenin ekolojik koşulları farklılık gösterdiği için, bölgeye özgü ek araştırmalar yapılması gereklidir.

Hastalıklara karşı etkili yönetim stratejileri geliştirmek için, dayanıklı türlerin yetiştirilmesi, uygun kültürel uygulamaların benimsenmesi ve biyolojik veya kimyasal kontrol yöntemlerinin entegrasyonu önem taşımaktadır. Gelecekteki çalışmalar, bu fungal patojenlerin yaşam döngüsü, yayılım dinamikleri ve çevresel faktörlerle ilişkileri üzerine odaklanmalıdır. Böylelikle, kabuklu meyve üretiminde sürdürülebilirliği artırmaya yönelik kapsamlı stratejiler oluşturulabilir.

4. KAYNAKÇA

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). FAOSTAT: Crops and livestock products. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (access date 10.04.2026)
- [2] Sohrabi, M., Mohammadi, H., León, M., Armengol, J., Banihashemi, Z. Fungal pathogens associated with branch and trunk cankers of nut crops in Iran. *European Journal of Plant Pathology*, 157, 327-351, 2020.
- [3] Sezer, A., Dolar, F. S. Determination of *Pestalotiopsis* sp. causing disease on fruit clusters in hazelnut growing areas of Ordu, Giresun and Trabzon provinces in Turkey. *Poljoprivreda i Sumarstvo*, 61(1), 183, 2015.
- [4] Derviş, S., Türkölmez, Ş., Çiftçi, O., Ulubaş Serçe, Ç., Dikilitas, M. First report of *Neoscytalidium dimidiatum* causing canker, shoot blight, and root rot of pistachio in Turkey. *Plant Disease*, 103(6), 1411-1411, 2019a.
- [5] Moral, J., Morgan, D., Trapero, A., Michailides, T. J. Ecology and epidemiology of diseases of nut crops and olives caused by *Botryosphaeriaceae* fungi in California and Spain. *Plant Disease*, 103(8), 1809-1827, 2019.
- [6] Martino, I., Spadaro, D., Guarnaccia, V. Fungal trunk pathogens of fruit and nut tree crops: identification, characterization, detection and perspectives for a critical global issue. *Plant Disease*, *Plant Disease*. Advance online publication.2024.
- [7] Slippers, B., Wingfield, M. J. *Botryosphaeriaceae* as endophytes and latent pathogens of woody plants: Diversity, ecology and impact. *Fungal Biology Reviews*, 21(2-3), 90-106, 2007.

- [8] Rizzo, D. M., Garbelotto, M., Hansen, E. M. *Phytophthora ramorum*: Integrative research and management of an emerging pathogen in California and Oregon. *Annual Review of Phytopathology*, 40(1), 971-989, 2002.
- [9] Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., Lorito, M. *Trichoderma* species—opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43-56, 2004.
- [10] Guldur, M. E., Dikilitas, M., Ak, B. E. Pistachio diseases in the southeastern anatolian region. In V International Symposium on Pistachios and Almonds 912,739-742, 2009.
- [11] Çakar, D. Role of the fungal flora on kernel rot of chestnuts. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 9(2), 143-152, 2023.
- [12] Aydın, M. H., Canpolat, S., Uzun, T. Some soilborne pathogens causing root rot and wilting of pistachio trees in southeastern Turkey. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 46(4), 395-409, 2024.
- [13] Türkölmez, Ş., Çiftçi, O., Derviş, S., Serçe, Ç. U. First report of *Phytophthora palmivora* causing crown and root rot of pistachio trees in Turkey. *Plant Disease*, 99(12), 1866, 2015.
- [14] Keles, H., Güney, M. Characterization and Pathogenicity of Botryosphaeriaceae Species Associated with Trunk Canker, Gummosis and Dieback of Almond Trees in Turkey. 2023.
- [15] Ustun, N., Poyraz, D., Arslan, N. Outbreak and etiology of brown apical necrosis on walnut in Balıkesir province of Turkey. In II International Workshop on Bacterial Diseases of Stone Fruits and Nuts 1149, 63-66, 2015.
- [16] Sezer, A., Dolar, F. S., Ünal, F. First report of *Colletotrichum fioriniae* infection of hazelnut. *Mycotaxon*, 132(3), 495-502, 2017.
- [17] Kurbetli, İ., Hancıoğlu, Ö. Fungal diseases on almond in Isparta province. *Plant Protection Bulletin*, 48(3), 43-55, 2009.
- [18] Çeliker, N. M., Onoğur, E. Preliminary studies on the fungal disorders especially on ink disease causing decline of chestnut trees in Turkey. In International Workshop on Chestnut Management in Mediterranean Countries-Problems and Prospects 815, 227-232, 2007.
- [19] Akat, S., Özaktan, H., Yolageldi, L. Studies on the etiology and control of brown apical necrosis (BAN) of walnut fruits in Turkey. In II International Workshop on Bacterial Diseases of Stone Fruits and Nuts 1149, 57-62, 2015.
- [20] Özer, G., Türkölmez, Ş., Derviş, S. First report of *Lasioidiplodia theobromae* causing dieback on almond (*Prunus dulcis*) in Turkey. *Journal of Plant Pathology*, 104(1), 445-446, 2022.
- [21] Derviş, S., Türkölmez, Ş., Çiftçi, O., Ulubaş Serçe, Ç., Dikilitas, M. First report of *Neoscytalidium dimidiatum* causing black canker and root rot of walnut in Turkey. *Plant Disease*, 103(8), 2129-2129, 2019b.

- [22] Ören, E., Koca, G., Gencer, R., Bayraktar, H. First report of *Neoscytalidium novaehollandiae* associated with stem canker and branch dieback of almond trees. *Australasian Plant Disease Notes*, 15(1), 17, 2020b
- [23] Sezer, A., Dolar, F. S. Ordu, Giresun Ve Trabzon illeri fındık üretim alanlarında çotanaklarda hastalık oluşturan *Botrytis cinerea* Pers. Ex Fr.'nin yaygınlığı ve bazı çeşitlerin etmene karşı reaksiyonlarının belirlenmesi. *Bitki Koruma Bülteni*, 52(1), 93-110, 2012b
- [24] Altın, N. Düzce ili fındık bahçelerinde külleme hastalığının bulunma oranı hastalık şiddeti ve yaygınlığının belirlenmesi. *Bitki Koruma Bülteni*, 57(2), 113-122, 2017.
- [25] Kurt, Ş., Soylu, S., Uysal, A., Soylu, E. M., Kara, M. Ceviz gövde kanseri hastalığı etmeni *Botryosphaeria dothidea*'nın tanınması ve bazı fungusitlerin hastalık etmenine karşı *in vitro* antifungal etkinliklerinin belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(1), 46-56, 2002b.
- [26] Sezer, A., Dolar, F. S. *Colletotrichum acutatum*, a new pathogen of hazelnut. *Journal of Phytopathology*, 160(7-8), 428-430, 2012a.
- [27] Karaca, G. H., Erper, I., Endes, A. First report of *Pestalotiopsis guepinii* causing twig blight on hazelnut and walnut in Turkey. *Plant Pathology*. 50, 415, 2001.

SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BİYOÇAR TEMELLİ UYGULAMALARIN GÜVENLİ PLANLANMASI

Bulut SARGİN*

Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, 65100
Van, Türkiye. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4752-4333>

bulutsargin@yyu.edu.tr

Mehmet Can DİKİCİ

Van Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Van, Türkiye. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-6834-3979>

mehmetcan.dikici@tarimorman.gov.tr

*Corresponding Author: Bulut Sargın, Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, 65100 Van, Türkiye. e-mail: bulutsargin@yyu.edu.tr

ÖZET

Biyοçar, organik kökenli materyallerin sınırlı oksijenli koşullarda piroliziyle elde edilen ve toprak fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirebilen karbonca zengin bir materyaldir. Sebze yetiştiriciliğinde kısa üretim döngüsü, yoğun gübreleme, sık sulama, örtü altı üretim koşulları ve doğrudan tüketime sunulan ürün organları nedeniyle biyoçar kullanımı yalnızca verim artışı açısından değil, aynı zamanda materyal kalitesi, gıda güvenliği ve çevresel risk yönetimi açısından da değerlendirilmelidir. Bu derleme niteliğindeki çalışmada, verilen güncel literatür içinden sebze üretimiyle doğrudan ilişkili kaynaklar esas alınarak organik düzenleyiciler, gübreleme, sulama ve rizosfer yönetimi bağlamında biyoçar uygulamalarının güvenli ve etkin planlanmasına yönelik bir karar çerçevesi oluşturulmuştur. Çalışmada hammadde tipi, piroliz koşulları, pH, elektriksel iletkenlik, kül içeriği, besin elementi kompozisyonu, ağır metal ve organik kirletici riski gibi temel kalite ölçütleri değerlendirilmiş; yapraklı sebzeler, kök-yumru sebzeler, meyvesi yenen sebzeler, fide yetiştiriciliği ve örtü altı üretim açısından uygulama hassasiyetleri karşılaştırılmıştır. Literatür, biyoçarın su tutma kapasitesi, besin elementi döngüsü, organik karbon stabilizasyonu ve toprak biyolojik sağlığı üzerinde olumlu katkılar sağlayabileceğini; ancak bu etkilerin toprak tipi, biyoçar niteliği, doz, ürün grubu ve sulama suyu kalitesine bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Özellikle yüksek pH, yüksek tuzluluk, ağır metal içeriği, kaynağı belirsiz hammadde ve kontrolsüz yüksek doz uygulamaları sebze üretiminde istenmeyen sonuçlara neden olabilir. Bu nedenle biyoçar, standart bir reçete olarak değil; toprak, su, ürün ve materyal analizlerine dayalı, izlenebilir ve kademeli bir uygulama yaklaşımıyla kullanılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Biyoçar; sebze yetiştiriciliği; organik düzenleyiciler; gübreleme; sulama yönetimi; rizosfer; gıda güvenliği

SAFE PLANNING OF BIOCHAR-BASED APPLICATIONS IN VEGETABLE CULTIVATION

ABSTRACT

Biochar is a carbon-rich material produced through the pyrolysis of organic feedstocks under limited oxygen conditions and can modify the physical, chemical, and biological properties of soils. In vegetable cultivation, short crop cycles, intensive fertilization, frequent irrigation, protected cultivation systems, and directly consumed plant organs require biochar use to be evaluated not only in terms of yield improvement but also in relation to material quality, food safety, and environmental risk management. Based on the relevant sources provided, this review develops a decision-oriented framework for the safe and effective planning of biochar applications in the context of organic amendments, fertilization, irrigation and rhizosphere management in vegetable production. Key quality parameters, including feedstock type, pyrolysis conditions, pH, electrical conductivity, ash content, nutrient composition, heavy metals, and organic contaminant risks, are discussed. Application sensitivities are also compared across leafy vegetables, root and tuber vegetables, fruiting vegetables, seedling production, and protected cultivation systems. The literature indicates that biochar may contribute to water retention, nutrient cycling, organic carbon stabilization, and soil biological health; however, these effects depend strongly on soil type, biochar properties, application rate, crop group, and irrigation water quality. High pH, excessive salinity, elevated heavy metal content, unknown feedstock origin, and uncontrolled high-rate applications may cause undesirable outcomes in vegetable production. Therefore, biochar should not be used as a fixed-rate universal amendment but as a characterized, traceable, and gradually implemented soil amendment based on soil, water, crop, and material analyses.

Keywords: Biochar; vegetable cultivation; organic amendments; fertilization; irrigation management; rhizosphere; food safety

1. GİRİŞ

Sebze yetiştiriciliği, tarımsal üretim içinde yoğun girdi kullanımı ve kısa üretim döngüsüyle öne çıkan bir alandır. Yapraklı sebzelerde hızlı ve sık hasat, meyvesi yenen sebzelerde uzun dönemli besin ve su gereksinimi, kök-yumru sebzelerde toprakla doğrudan temas ve fide üretiminde sınırlı kök hacmi, toprak düzenleyici materyallerin dikkatli seçilmesini gerektirir. Bu bağlamda biyoçar, su tutma kapasitesi, kation değişim kapasitesi, besin tutma potansiyeli ve stabil karbon katkısı nedeniyle sebze üretim sistemlerinde ilgi gören bir materyaldir (Blanco-Canqui, 2017; Ding vd., 2016; Xu vd., 2025).

Bununla birlikte biyoçar tek tip ve her koşulda aynı sonucu veren bir materyal değildir. Hammaddesi, piroliz sıcaklığı, kül oranı, pH, elektriksel iletkenlik (EC), yüzey kimyası ve olası kirletici içeriği uygulama sonucunu belirgin biçimde değiştirebilir (Allohverdi vd., 2021; Hossain vd., 2020). Bu nedenle sebze yetiştiriciliğinde biyoçar kullanımı, yalnızca “verimi artırma” beklentisiyle değil; ürün kalitesi, gıda güvenliği, toprak sağlığı ve ekonomik uygulanabilirlik bakımından birlikte değerlendirilmelidir. Son yıllarda yapılan derleme ve meta-analizler, biyoçarın toprak fiziksel özellikleri, su ilişkileri, besin elementi döngüsü ve mikrobiyal süreçler üzerindeki etkilerinin koşula bağlı olduğunu göstermektedir (Bolan vd.,

2024; Edeh vd., 2020). Bu durum sebze üretiminde karar destek odaklı bir yaklaşıma ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın amacı, verilen kaynaklar içinden sebze yetiştiriciliğiyle doğrudan ilişkili olanları kullanarak biyoçar uygulamalarında materyal kalitesi, ürün grubu hassasiyeti, gıda güvenliği riski ve uygulama öncesi izleme ölçütleri temelinde özgün bir planlama çerçevesi sunmaktır.

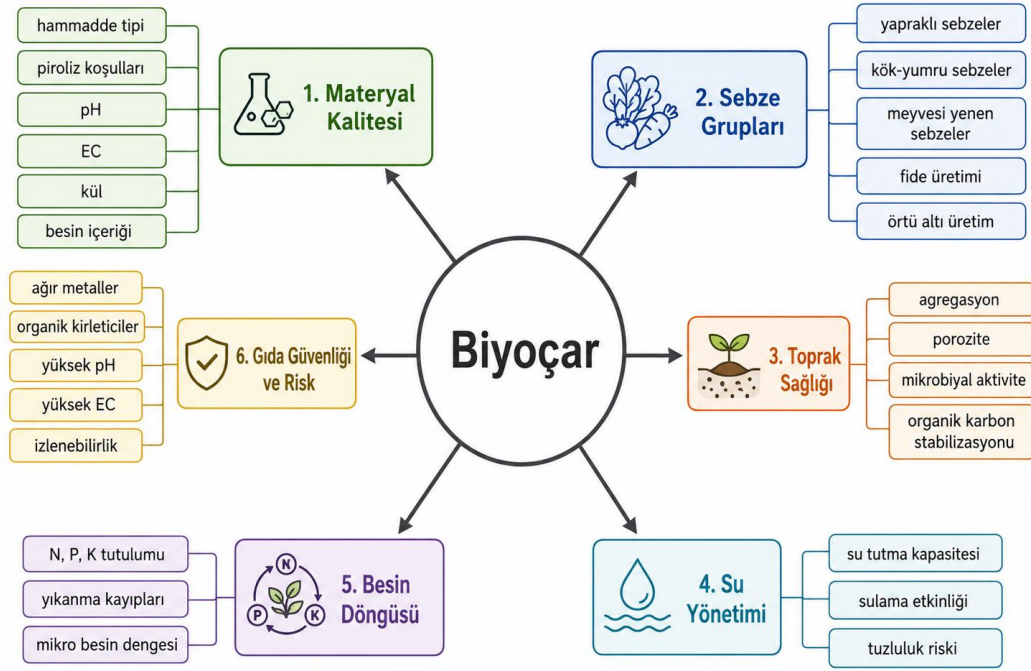
2. KAYNAK SEÇİMİ VE ÇALIŞMANIN ODAĞI

Bu çalışmada kullanılan literatür, verilen kaynak listesi içinden konu ile doğrudan ilişkili olan çalışmalar seçilerek oluşturulmuştur. Seçimde üç ölçüt dikkate alınmıştır: (i) biyoçarın sebze üretimi, toprak sağlığı, su tutma, besin döngüsü veya gıda güvenliğiyle doğrudan ilişkili olması; (ii) makalenin karar destek, materyal kalitesi ve risk yönetimi eksenine katkı sağlaması; (iii) kaynak bilgisinin izlenebilir ve akademik nitelikte olması. Orman ekosistemleri, sucul bitki fizyolojisi, yalnızca enerji/adsorpsiyon amaçlı çalışmalar veya sebze üretimiyle doğrudan bağlantısı zayıf kaynaklar ana metne alınmamıştır. Bu yaklaşım, çalışmanın yalnızca “biyoçar + düzenleyici” kombinasyonlarını sıralayan sinerji odaklı metinlerden ayrılmasını sağlamaktadır. Burada organik düzenleyiciler, gübreleme, sulama ve rizosfer yönetimi başlıkları; uygulama kombinasyonlarının nicel üstünlüğünü göstermek için değil, sebze üretiminde güvenli kullanım, kalite kontrolü, ürün grubu hassasiyeti ve izleme gerekliliklerini tartışmak için ele alınmıştır.

Çizelge 1. Bu çalışmada kullanılan kaynakların ana katkı alanları.

Kaynak grubu	Bu makaledeki kullanım amacı	Örnek kaynaklar
Genel biyoçar ve toprak kalitesi	Biyoçarın toprak verimliliği, karbon, pH, CEC ve besin döngüsü üzerindeki koşula bağlı etkilerini açıklamak.	Ding vd. (2016); Alkharabsheh vd. (2021); Allohverdi vd. (2021); Hossain vd. (2020)
Toprak fiziksel özellikleri ve su	Su tutma kapasitesi, hacim ağırlığı, porozite ve tekstüre bağlı yanıtları değerlendirmek.	Blanco-Canqui (2017); Edeh vd. (2020); Karhu vd. (2011)
Sebze üretimi ve ürün kalitesi	Sebze gruplarında verim, kalite, besin alımı ve uygulama hassasiyetlerini tartışmak.	Xu vd. (2025); Bi vd. (2022); Awad vd. (2017); Wang vd. (2023)
Gıda güvenliği ve kirletici riski	Ağır metal, PAH, serbest radikal, hammadde ve üretim koşulu risklerini değerlendirmek.	Medyńska-Juraszek vd. (2020); Lu vd. (2016); Liao vd. (2014); Ruan vd. (2019); Oleszczuk vd. (2014)
Biyolojik sağlık ve rizosfer	Mikrobiyal habitat, biyolojik aktivite ve toprak biyolojik sağlığına ilişkin mekanizmaları açıklamak.	Bolan vd. (2024); Quilliam vd. (2013); Purakayastha vd. (2015)
Ekonomi ve uygulanabilirlik	Biyoçarın maliyet-fayda ve net ekosistem ekonomik yarar boyutunu karar sürecine dahil etmek.	Campion vd. (2023); Bi vd. (2022); Dickinson vd. (2015)

Sebze yetiştiriciliğinde biyoçar kullanımının temel etki alanları ve değerlendirme boyutları Şekil 1’de özetlenmiştir.



Şekil 1. Sebze yetiştiriciliğinde biyoçar kullanımının temel etki alanları ve değerlendirme boyutları. Kaynak: Yazar tarafından; Ding vd. (2016), Blanco-Canqui (2017), Hossain vd. (2020), Edeh vd. (2020), Bolan vd. (2024) ve Xu vd. (2025) esas alınarak hazırlanmıştır.

3. BİYOÇARIN TARIMSAL DEĞERİNİ BELİRLEYEN MATERİYAL ÖZELLİKLERİ

3.1. Hammadde tipi ve üretim koşulları

Biyoçarın tarımsal etkisi öncelikle hammadde kaynağına bağlıdır. Bitkisel artıklar, budama atıkları, kabuklar, sap-saman ve hayvansal kökenli materyaller farklı mineral içerikleri, kül oranları ve potansiyel kirletici riskleri taşır. Hayvansal atıklardan üretilen biyoçarlar P, Ca, Mg ve kül bakımından daha zengin olabilmekle birlikte, tuzluluk ve ağır metal riski açısından daha ayrıntılı analiz gerektirebilir (Hossain vd., 2020; Premalatha vd., 2023). Bitkisel kökenli biyoçarlar ise bazı koşullarda daha düşük tuzluluk ve daha dengeli fiziksel iyileştirme potansiyeli gösterebilir; ancak bu durum hammaddeye ve üretim sürecine göre değişir.

Piroliz sıcaklığı ve süresi, biyoçarın pH, yüzey alanı, aromatik karbon yapısı, besin elementi yarıyışlılığı ve olası organik kalıntı içeriği üzerinde belirleyicidir. Yüksek piroliz sıcaklıkları genellikle daha stabil karbon yapısı oluşturabilir; ancak aynı zamanda kül oranı ve alkalilik artabilir. Daha düşük sıcaklıklar bazı fonksiyonel grupları koruyabilir; fakat organik kalıntı veya fitotoksiste riski açısından daha dikkatli değerlendirme gerektirir (Allohverdi vd., 2021; Ding vd., 2016). Bu nedenle sebze yetiştiriciliğinde “biyoçar” genel bir ürün adı olarak değil, karakterizasyonu yapılmış bir materyal olarak ele alınmalıdır.

3.2. pH, EC, kül içeriği ve besin kompozisyonu

Sebze üretiminde pH ve EC, biyoçar uygulama kararını doğrudan etkileyen iki temel parametredir. Alkalın karakterli biyoçarlar asidik topraklarda sınırlı yarar sağlayabilirken,

kireçli ve yüksek pH'lı topraklarda Fe, Zn, Mn ve Cu gibi mikro besin elementlerinin yararlanılabilirliğini azaltabilir (Dai vd., 2017; Hossain vd., 2020). Özellikle örtü altı yetiştiricilikte ve fide üretiminde yüksek EC değerine sahip biyoçarlar kök gelişimini baskılayabilir, düzensiz büyümeye ve kalite kaybı oluşturabilir.

Kül içeriği biyoçarın mineral katkı potansiyelini göstermekle birlikte, aynı zamanda tuzluluk ve pH artışı riskini de temsil eder. Bu nedenle biyoçarın besin elementi içeriği gübreleme programından bağımsız düşünülmemelidir. K, Ca, Mg veya P bakımından zengin biyoçarlar bazı sistemlerde besin katkısı sağlayabilir; fakat yüksek dozlarda iyon dengesizliği veya mikro element noksanlığına zemin hazırlayabilir (Hossain vd., 2020; Xu vd., 2025).

3.3. Gözeneklilik, yüzey kimyası ve besin tutma

Biyoçarın gözenekli yapısı ve yüzey yükleri, suyun ve bazı besin iyonlarının toprakta tutulmasına katkı sağlayabilir. Bu etki özellikle organik maddece düşük, kaba bünyeli ve su tutma kapasitesi sınırlı topraklarda daha belirgin olabilir (Blanco-Canqui, 2017; Edeh vd., 2020). Ancak yüksek adsorpsiyon kapasitesi her zaman bitki açısından doğrudan olumlu sonuç vermez. Bazı besin elementlerinin kısa dönemde tutulması, hızlı gelişen sebzelerde geçici noksanlık riskini artırabilir. Bu nedenle biyoçar uygulamasından sonra yaprak ve toprak analizleriyle beslenme durumu izlenmelidir.

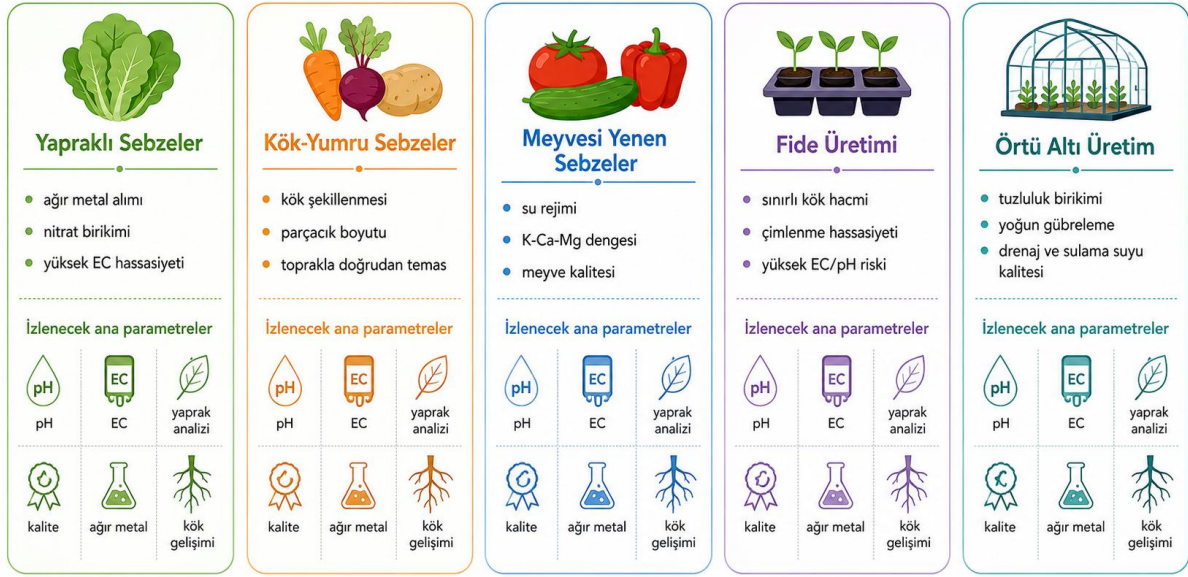
Çizelge 2. Sebze yetiştiriciliğinde biyoçar uygulaması öncesinde değerlendirilmesi gereken kalite parametreleri.

Parametre	Önemi	Sebze yetiştiriciliği için yorum
Hammadde kaynağı	Besin içeriği, kül oranı, tuzluluk ve kirletici riskini belirler.	Kaynağı belirsiz, karışık veya endüstriyel atık içeren materyaller gıda üretiminde kullanılmamalıdır.
Piroliz sıcaklığı	Karbon stabilitesi, pH, yüzey alanı ve organik kalıntı içeriğini etkiler.	Üretim koşulu bilinmeyen biyoçarlarda küçük ölçekli ön deneme yapılmalıdır.
pH	Toprak reaksiyonu ve mikro besin yararlanılabilirliği üzerinde etkilidir.	Kireçli ve yüksek pH'lı topraklarda alkalın biyoçar dozu sınırlandırılmalıdır.
Elektiriksel iletkenlik	Çözünür tuz katkısı ve fide kök baskısı riski oluşturabilir.	Örtü altı ve fide üretiminde düşük EC'li materyaller tercih edilmelidir.
Kül içeriği	Mineral katkı sağlayabilir; ancak pH ve tuzluluk artışına neden olabilir.	Yüksek kül içeriği düşük doz ve sık izleme gerektirir.
Ağır metaller	Cd, Pb, As, Cr, Ni ve Hg gibi elementler gıda güvenliğini etkiler.	Uygulama öncesi ağır metal analizi yapılmadan sebze üretiminde kullanılmamalıdır.
Organik kirleticiler	Uyumsuz pirolizde PAH veya benzeri kalıntılar oluşabilir.	Gıda üretiminde izlenebilir ve analiz raporlu materyal kullanılmalıdır.
Besin elementi içeriği	Gübreleme programını ve iyon dengesini değiştirebilir.	Biyoçar gübre yerine geçmemeli; gübreleme planına veri olarak dahil edilmelidir.

4. SEBZE GRUPLARINA GÖRE UYGULAMA HASSASİYETİ

Sebze türleri biyoçar uygulamalarına aynı yönde yanıt vermez. Tüketilen bitki organı, kök mimarisi, üretim süresi, tuzluluk hassasiyeti ve pazar kalite kriterleri uygulama başarısını belirler. Bu nedenle sebze yetiştiriciliğinde biyoçar dozunun yalnızca toprak analizine göre değil, ürün grubunun hassasiyetine göre de düzenlenmesi gerekir (Xu vd., 2025). Sebze ve üretim gruplarına göre biyoçar uygulamasında izlenmesi gereken temel başlıklar Şekil 2'de gösterilmiştir.

Sebze ve Üretim Gruplarına Göre Temel İzleme Başlıkları



Şekil 2. Sebze ve üretim gruplarına göre biyoçar uygulamasında temel izleme başlıkları. Kaynak: Yazar tarafından; Medyńska-Juraszek vd. (2020), Akay (2022), Awad vd. (2017), Murtaza vd. (2024) ve Xu vd. (2025) esas alınarak hazırlanmıştır.

4.1. Yapraklı sebzeler

Marul, ıspanak, roka, maydanoz ve benzeri yapraklı sebzelerde tüketilen kısım doğrudan yaprak dokusudur. Kısa yetiştirme süresi ve yüksek azot ihtiyacı nedeniyle bu grupta pH, EC, nitrat birikimi ve ağır metal alımı dikkatle izlenmelidir. Medyńska-Juraszek vd. (2020), yeşil yapraklı sebzelerde kompost ve biyoçar uygulamalarının Pb ve Cd hareketliliği üzerindeki etkisinin materyal ve toprak koşullarına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Bu bulgu, yapraklı sebzelerde yalnızca verim yanıtına değil, ürün güvenliğine de odaklanılması gerektiğini desteklemektedir.

Yapraklı sebzelerde yüksek doz veya karakterize edilmemiş biyoçar uygulamaları önerilmemelidir. Öncelikli yaklaşım, düşük EC'li, analiz raporu bulunan ve küçük ölçekli denemeye test edilmiş materyallerin kullanılmasıdır. Uygulama sonrası yaprakta makro ve mikro besin içeriği ile gerektiğinde ağır metal düzeyleri izlenmelidir.

4.2. Kök ve yumru sebzeler

Havuç, turp, pancar, patates ve benzeri kök-yumru sebzelerde ürün doğrudan toprak içinde gelişir. Bu nedenle biyoçarın toprak fiziksel yapısı, parçacık boyutu, havalanma ve hacim ağırlığı üzerindeki etkileri kalite açısından önemlidir. Çok iri veya düzensiz dağılan biyoçar parçacıkları kök formunda şekil bozukluğuna katkı sağlayabilir. Buna karşılık uygun parçacık boyutu ve düşük dozda kullanılan biyoçar, sıkışma eğilimi yüksek topraklarda kök bölgesi koşullarını destekleyebilir (Blanco-Canqui, 2017).

Kireçli ve yüksek pH'lı topraklarda kök sebzeler için biyoçar kullanımı ayrıca dikkat gerektirir. Akay (2022) tarafından turp bitkisinde yürütülen çalışma, biyokömür ve kükürt uygulamalarının kireçli koşullarda bitki gelişimiyle ilişkili olabileceğini göstermesi

bakımından yerel bağlamda değerlidir; ancak bu tür sonuçların her biyoçar ve her toprak koşuluna genellenmemesi gerekir.

4.3. Meyvesi yenen sebzeler

Domates, biber, patlıcan, hıyar ve kabak gibi meyvesi yenen sebzelerde biyoçarın etkisi daha çok kök bölgesi su rejimi, besin dengesi ve fizyolojik stres yanıtları üzerinden ortaya çıkar. Murtaza vd. (2024), domateste kuraklık ve tuzluluk koşullarında biyoçar uygulamasının su kullanım etkinliği ve bazı fizyolojik göstergeler üzerinde katkı sağlayabileceğini bildirmiştir. Bununla birlikte su kullanım etkinliğindeki artış her zaman pazarlanabilir verim ve kalite artışı anlamına gelmeyebilir. Bu nedenle meyveli sebzelerde biyoçar uygulaması, sulama programı, Ca-K-Mg dengesi ve meyve kalite parametreleriyle birlikte izlenmelidir.

4.4. Fide yetiştiriciliği, substrat sistemleri ve örtü altı üretim

Fide yetiştiriciliği biyoçar uygulamasında en hassas aşamalardan biridir. Sınırlı kök hacmi, yüksek EC ve pH'a karşı duyarlılığı artırır. Substratlarda biyoçar kullanımı planlanıyorsa su tutma kapasitesi, havalanma porozitesi, parçacık boyutu ve besin elementleriyle etkileşim ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Awad vd. (2017), biyoçarın hidroponik/substrat ortamlarında bazı yapraklı sebzelerin beslenme ve büyüme durumunu destekleyebileceğini göstermiştir; ancak substrat bulgularının açık tarla koşullarına doğrudan aktarılması uygun değildir.

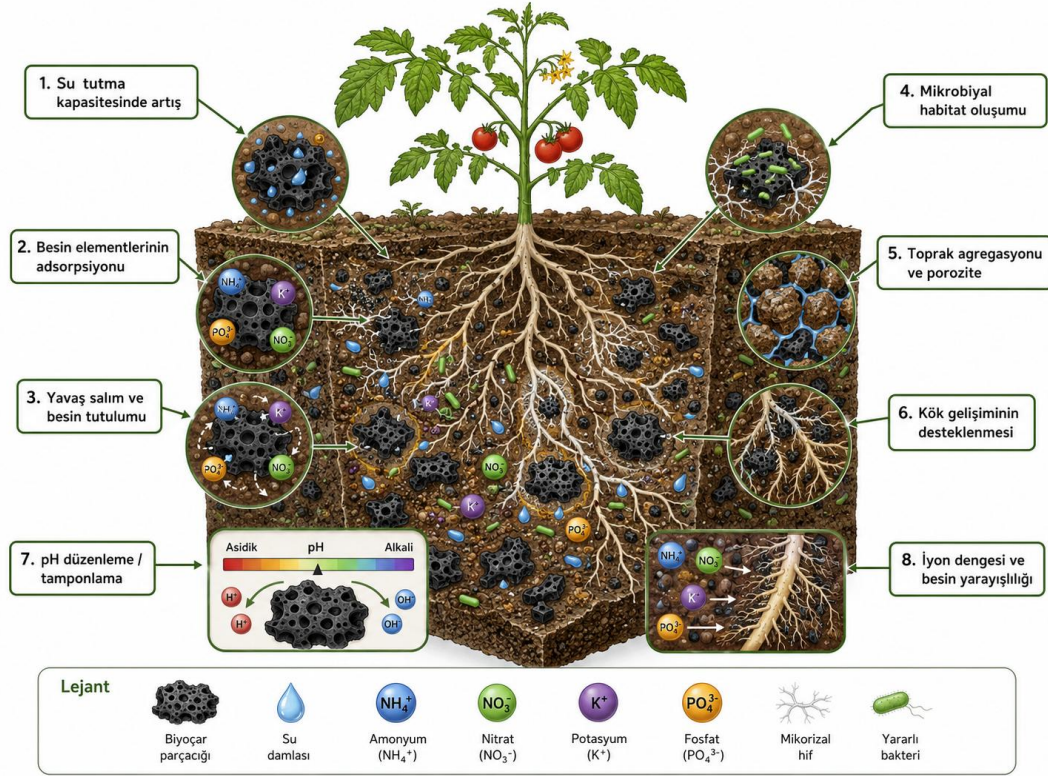
Örtü altı üretimde ise gübreleme yoğunluğu ve drenajın sınırlı olması, tuzluluk birikimini hızlandırabilir. Bu koşullarda biyoçarın kendi EC değeri kritik hale gelir. Ayrıca sulama suyu kalitesi düşükse biyoçarın tuzluluk katkısı daha önemli bir risk oluşturabilir. Bu nedenle örtü altı sistemlerde düşük doz, düzenli pH-EC takibi ve gerektiğinde yıkama/drenaj yönetimi birlikte ele alınmalıdır.

Çizelge 3. Sebze gruplarına göre biyoçar kullanımında öncelikli risk ve izleme alanları.

Sebze/üretim grubu	Öncelikli hassasiyet	İzlenmesi önerilen parametreler
Yapraklı sebzeler	Ağır metal alımı, nitrat birikimi, yüksek EC ve hızlı büyüme nedeniyle kısa dönemli besin dengesizliği.	Toprak pH-EC, yaprak besin analizi, ürün ağır metal analizi, görsel kalite.
Kök-yumru sebzeler	Kök şekillenmesi, parçacık boyutu, toprak sıkışması ve ürünün toprakla doğrudan teması.	Parçacık boyutu, hacim ağırlığı, kök formu, pH-EC, ürün kalite gözlemi.
Meyvesi yenen sebzeler	Su rejimi, Ca-K-Mg dengesi, meyve kalitesi ve fizyolojik stres.	Toprak nemi, yaprak analizi, meyve iriliği, çatlama, sertlik, kalite parametreleri.
Fide üretimi	Sınırlı kök hacmi, yüksek EC, aşırı alkalilik ve çimlenme/kök baskısı.	Çimlenme, kök uzunluğu, fide kuru ağırlığı, ortam pH-EC değeri.
Örtü altı üretim	Tuz birikimi, yoğun gübreleme ve kapalı sistem koşulları.	Drenaj EC, toprak/ortam EC, sulama suyu kalitesi, yaprak semptomları.

5. TOPRAK SAĞLIĞI, SU TUTMA VE BESİN DÖNGÜSÜ

Biyoçarın toprak fiziksel özellikleri, su ilişkileri, besin döngüsü ve mikrobiyal yaşam üzerindeki başlıca etki mekanizmaları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Biyoçarın toprak sağlığı, su tutma ve besin döngüsü üzerindeki başlıca etki mekanizmaları. Kaynak: Yazar tarafından; Blanco-Canqui (2017), Edeh vd. (2020), Hossain vd. (2020), Quilliam vd. (2013), Purakayastha vd. (2015) ve Bolan vd. (2024) esas alınarak hazırlanmıştır.

5.1. Toprak fiziksel özellikleri

Biyoçarın toprak fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi, uygulanan materyalin özellikleri ve toprak tekstürüyle yakından ilişkilidir. Blanco-Canqui (2017), biyoçarın hacim ağırlığı, agregasyon, porozite ve su ilişkileri üzerindeki etkilerinin değişken olduğunu; sonuçların biyoçar tipi, doz ve toprak koşulları birlikte değerlendirilmeden genellenmemesi gerektiğini vurgulamaktadır. Sebze yetiştiriciliğinde köklerin çoğunlukla üst toprak katmanında yoğunlaşması, bu fiziksel değişimlerin verim ve kaliteye hızlı yansımaya neden olabilir.

Kaba bünyeli topraklarda biyoçarın su tutma kapasitesine katkısı daha belirgin olabilir. Ağır bünyeli topraklarda ise etkiler daha çok agregasyon ve havalanma üzerinden görülebilir. Ancak çok ince toz formundaki biyoçarlar yüzeyde düzensiz dağılım, kabuklanma veya su hareketinde beklenmeyen değişimler oluşturabilir. Bu nedenle uygulama öncesinde parçacık boyutu ve uygulama yöntemi de planlanmalıdır.

5.2. Su tutma kapasitesi ve sulama yönetimi

Biyoçarın su tutma kapasitesine etkisi literatürde sık vurgulansa da bu etki her koşulda aynı düzeyde değildir. Edeh vd. (2020), biyoçarın toprak su özellikleri üzerindeki etkilerinin toprak dokusu ve biyoçar niteliğine bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir. Karhu vd. (2011) ise kısa dönemli tarla uygulamasında biyoçarın su tutma kapasitesi ve sera gazı süreçleriyle ilişkili

etkilerini değerlendirmiştir. Bu bulgular, sebze yetiştiriciliğinde biyoçar uygulamasından sonra sulama programının yeniden gözlemlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Su kısıtı veya tuzluluk riski bulunan alanlarda biyoçarın etkisi, sulama suyu kalitesiyle birlikte düşünülmelidir. EC veya sodyum adsorpsiyon oranı yüksek sulama sularının kullanıldığı sistemlerde, biyoçarın kendi EC değeri ve kül içeriği uygulama kararını sınırlandırabilir. Murtaza vd. (2024) domateste kuraklık ve tuzluluk altında olumlu bazı fizyolojik yanıtlar bildirmiştir; ancak bu sonuçlar, biyoçarın tuzlu koşullarda kontrolsüz biçimde kullanılabileceği anlamına gelmez.

5.3. Besin elementi döngüsü

Biyoçarın besin elementi döngüsüne etkisi çift yönlüdür. Bir yandan bazı katyonların ve besin iyonlarının tutulmasını destekleyerek yıkanma kayıplarını azaltabilir; diğer yandan bazı besin elementlerini geçici olarak bağlayarak kısa dönemli yarıyışlılığı sınırlayabilir (Hossain vd., 2020; Khan vd., 2021). Bu durum özellikle hızlı gelişen yapraklı sebzelerde önemlidir. Biyoçar uygulaması sonrasında gübreleme programı toprak ve yaprak analizlerine göre yeniden düzenlenmelidir.

Fosfor ve potasyum açısından biyoçarın etkisi materyalin mineral içeriğine ve toprak pH'sına bağlıdır. Korkmaz vd. (2025), fındık zurufu biyoçarı ile fosfor kaynaklarının iceberg marulda büyüme ve P alımı üzerine etkilerini değerlendirmiştir. Bu tür çalışmalar, biyoçarın besin elementi taşıyıcısı olarak potansiyelini göstermesi bakımından önemlidir; ancak bu makalede ana vurgu, zenginleştirilmiş ürün geliştirmeden çok, biyoçarın mevcut besin içeriğinin gübreleme planına dahil edilmesi gerektiğidir.

5.4. Toprak biyolojik sağlığı

Biyoçarın gözenekli yapısı bazı mikroorganizmalar için mikrohabitat sağlayabilir. Quilliam vd. (2013) bu bölgeyi “charosphere” kavramıyla ele almış ve biyoçar çevresindeki mikrobiyal yaşam alanının toprak biyolojik süreçleri açısından önemine dikkat çekmiştir. Bolan vd. (2024), biyoçarın toprak biyolojik sağlığını destekleme potansiyelinin hammadde, piroliz koşulları, pH, EC ve uygulama dozu gibi etmenlere bağlı olduğunu vurgulamaktadır.

Bu nedenle biyolojik aktiviteyi artırma hedefiyle yapılan uygulamalarda, yalnızca ürün verimi değil; toprak solunumu, mikrobiyal biyokütle, enzim aktivitesi ve kök gelişimi gibi göstergeler de izlenmelidir. Biyoçarın organik kirletici veya yüksek tuz içeriği taşıması durumunda mikrobiyal süreçler olumlu yerine baskılayıcı yönde etkilenebilir (Oleszczuk vd., 2014).

6. GIDA GÜVENLİĞİ VE ÇEVRESEL RİSK YÖNETİMİ

6.1. Ağır metal riski

Sebze üretiminde biyoçar kullanımının en önemli güvenlik boyutlarından biri ağır metal riskidir. Cd, Pb, As, Cr, Ni ve Hg gibi elementler hem toprak sağlığı hem de insan tüketimi açısından önemlidir. Biyoçarın ağır metal içeriği hammaddeye ve üretim koşullarına bağlıdır. Arıtma çamuru, hayvansal atıklar veya kaynağı belirsiz organik materyallerden elde edilen biyoçarlar ağır metal analizi yapılmadan kullanılmamalıdır (Lu vd., 2016; Wang vd., 2019).

Medyńska-Juraszek vd. (2020), yapraklı sebzelerde Pb ve Cd hareketliliğinin organik düzenleyici ve biyoçar uygulamalarına bağlı olarak değişebildiğini göstermiştir. Bu bulgu, biyoçarın bazı koşullarda immobilizasyon katkısı sağlayabileceğini düşündürse de, her biyoçarın otomatik olarak güvenli olduğu anlamına gelmez. Sebze üretiminde ağır metal içeriği bilinmeyen materyallerin kullanımı, özellikle yapraklı ve kök-yumru sebzelerde kabul edilebilir bir uygulama değildir.

6.2. Organik kirleticiler, PAH ve serbest radikal riski

Uygunuz hammadde ve piroliz koşulları, biyoçarda polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) veya benzeri organik kirleticilerin oluşma riskini artırabilir. Ayrıca bazı biyoçarlarda kalıcı serbest radikallerin bulunabileceği ve bunların çevresel davranışının hammadde ve üretim koşullarına bağlı olduğu bildirilmektedir (Liao vd., 2014; Ruan vd., 2019). Gıda amaçlı sebze üretiminde bu nedenle izlenebilir üretim süreci, analiz raporu ve materyal standardizasyonu kritik önemdedir.

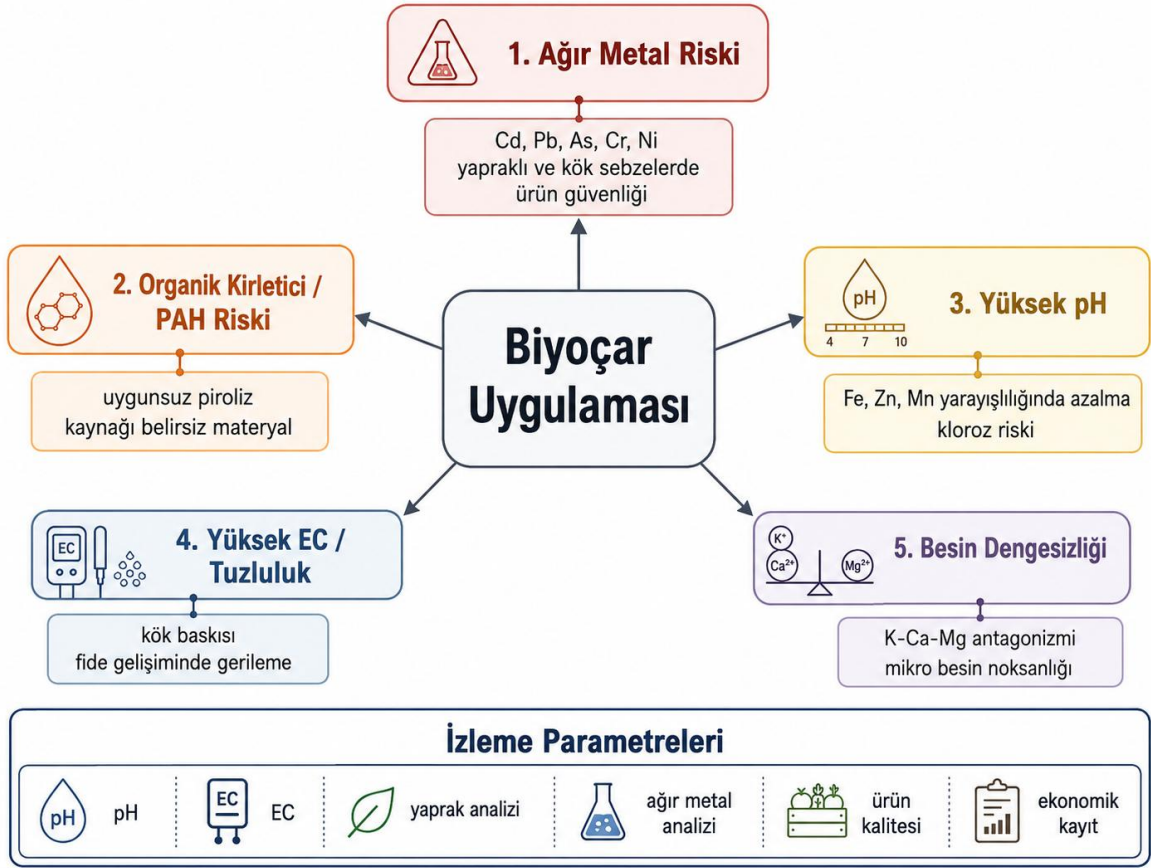
Pestisitlerle veya topraktaki organik kirleticilerle etkileşimler de dikkate alınmalıdır. Oleszczuk vd. (2014), biyoçar-pestisit-mikroorganizma etkileşimlerinin karmaşık olabileceğini göstermiştir. Bu nedenle pestisit kullanımının yoğun olduğu sebze üretim sistemlerinde, biyoçarın pestisitlerin yarayışlılığı, kalıcılığı veya biyolojik etkileri üzerindeki olası katkıları ayrıca izlenmelidir.

6.3. Tuzluluk, alkalilik ve besin dengesizliği

Biyoçarın yüksek pH ve EC değerleri, özellikle fide, yapraklı sebze ve örtü altı üretiminde kısa sürede sorun oluşturabilir. Yüksek EC kök gelişimini baskılayabilir; yüksek pH ise Fe, Mn ve Zn gibi mikro elementlerin alımını sınırlayabilir. Bu nedenle biyoçar uygulaması sonrasında yalnızca verim değil, bitki beslenme durumu ve ürün kalitesi de izlenmelidir.

Biyoçarın besin tutma kapasitesi genellikle olumlu bir özellik olarak görülse de, hızlı büyüyen sebzelerde dengeli gübreleme yapılmadığında besin dengesizliği oluşabilir. Potasyumca zengin biyoçarların yüksek dozları Ca ve Mg alımını etkileyebilir; yüksek fosfor içeriği ise bazı mikro elementlerle antagonistik ilişkiler oluşturabilir. Bu nedenle biyoçarın besin içeriği gübreleme programına “gizli katkı” olarak değil, ölçülmüş bir veri olarak dahil edilmelidir.

Biyoçar kullanımına bağlı olası gıda güvenliği ve çevresel risk yolları Şekil 4’te özetlenmiştir.



Şekil 4. Sebze üretiminde biyoçar kullanımına bağlı başlıca gıda güvenliği ve çevresel risk yolları. Kaynak: Yazar tarafından; Lu vd. (2016), Liao vd. (2014), Ruan vd. (2019), Oleszczuk vd. (2014), Medyńska-Juraszek vd. (2020) ve Wang vd. (2019) esas alınarak hazırlanmıştır.

7. RİSK TEMELLİ KARAR DESTEK ÇERÇEVESİ

Sebze yetiştiriciliğinde biyoçar kullanımında en güvenli yaklaşım, uygulamayı analiz temelli ve kademeli bir karar süreciyle planlamaktır. Bu süreç yalnızca materyal seçimini değil, toprak ve su koşullarını, sebze grubunu, uygulama dozunu, ekonomik uygulanabilirliği ve uygulama sonrası izleme parametrelerini birlikte içerir.

Karar sürecinin ilk aşaması hammadde ve üretim bilgisinin doğrulanmasıdır. İkinci aşama biyoçar analiz raporunun incelenmesidir. Üçüncü aşamada toprak ve sulama suyu analizleri yapılmalı; pH, EC, organik madde, tekstür ve besin durumu birlikte değerlendirilmelidir. Dördüncü aşamada ürün grubu hassasiyeti belirlenmeli; yapraklı sebze, fide ve örtü altı üretim gibi hassas sistemlerde daha düşük dozlar tercih edilmelidir. Beşinci aşamada küçük ölçekli ön deneme yapılmalı; son aşamada ise düzenli izleme yürütülmelidir.

Çizelge 4. Sebze üretiminde biyoçar uygulaması için risk temelli karar kontrol listesi.

Karar adımı	Temel soru	Uygulama kararı
1. Hammadde	Biyoçar hangi materyalden üretilmiştir?	Kaynağı belirsiz, karışık veya riskli materyaller kullanılmamalıdır.
2. Üretim koşulu	Piroliz sıcaklığı ve üretim yöntemi biliniyor mu?	Üretim bilgisi olmayan materyallerde yalnızca küçük ölçekli deneme yapılmalıdır.
3. Analiz raporu	pH, EC, kül, besin ve ağır metal değerleri var mı?	Analiz raporu yoksa gıda amaçlı sebze üretiminde doğrudan kullanım önerilmez.
4. Toprak analizi	Toprak pH, EC, organik madde ve besin durumu nedir?	Yüksek pH veya tuzluluk varsa doz azaltılmalı veya uygulama ertelenmelidir.
5. Sulama suyu	Su EC/SAR bakımından riskli mi?	Su kalitesi düşüğe biyoçarın EC değeri daha kritik kabul edilmelidir.
6. Ürün grubu	Yapraklı sebze, fide veya örtü altı sistem mi?	Hassas sistemlerde düşük doz, sık izleme ve ön deneme zorunludur.
7. Doz ve yöntem	Uygulama doğrudan geniş alana mı yapılacaktır?	Önce saksı veya küçük parsel denemesi yapılmalıdır.
8. İzleme	Uygulama sonrası hangi göstergeler takip edilecek?	Toprak pH-EC, yaprak analizi, ürün kalitesi ve gerekiyorsa ağır metal düzeyi izlenmelidir.

Sebze üretiminde biyoçar uygulamasına ilişkin risk temelli karar süreci Şekil 5’te akış şeması olarak sunulmuştur.

Sebze Üretiminde Biyoçar İçin Risk Temelli Karar Destek Akışı



Şekil 5. Sebze üretiminde biyoçar uygulaması için risk temelli karar destek akışı. Kaynak: Yazar tarafından; Campion vd. (2023), Bi vd. (2022), Medyńska-Juraszek vd. (2020), Lu vd. (2016), Bolan vd. (2024) ve Xu vd. (2025) esas alınarak hazırlanmıştır.

8. EKONOMİK UYGULANABİLİRLİK VE İZLENEBİLİRLİK

Biyoçarın sebze yetiştiriciliğinde kullanımı yalnızca agronomik etkiyle değil, ekonomik uygulanabilirlikle de değerlendirilmelidir. Üretim maliyeti, taşıma, uygulama işçiliği, analiz giderleri ve olası verim/kalite katkısı birlikte ele alınmadığında, biyoçar uygulaması üretici açısından sürdürülebilir olmayabilir. Champion vd. (2023), biyoçar üretimi ve kullanımında maliyet-fayda dengesinin sistemden sisteme değiştiğini ve ekonomik analizlerin karar sürecinde önemli olduğunu bildirmiştir.

Yoğun sebze üretim sistemlerinde biyoçar ve organik ikame uygulamalarının net ekosistem ekonomik yarar açısından değerlendirildiği çalışmalar, yalnızca verim artışına odaklanmanın yeterli olmadığını göstermektedir (Bi vd., 2022). Sebze üreticisi için biyoçar; toprak sağlığına katkı, gübreleme etkinliği, ürün kalitesi, çevresel risk azaltımı ve ekonomik geri dönüş birlikte değerlendirildiğinde anlam kazanır. Bu nedenle uygulama protokollerinde izlenebilirlik ve kayıt tutma temel unsur olmalıdır.

Çizelge 5. Uygulama sonrası izlenmesi önerilen göstergeler.

Gösterge	İzleme gerekçesi	Önerilen yorumlama
Toprak pH	Alkalilik artışı ve mikro besin yarıyışlılığı için temel göstergedir.	Yüksek pH eğilimi varsa mikro besin noksanlığı izlenmelidir.
Toprak/ortam EC	Tuzluluk birikimi ve kök baskısını gösterir.	Örtü altı ve fide üretiminde sık ölçüm yapılmalıdır.
Yaprak besin analizi	Besin tutulumu veya dengesizliğini belirlemek için gereklidir.	Gübreleme programı analiz sonuçlarına göre güncellenmelidir.
Bitki gelişimi ve kök yapısı	Fide, kök-yumru ve meyveli sebzelerde erken uyarı sağlar.	Kök baskısı veya şekil bozukluğu varsa doz/yöntem gözden geçirilmelidir.
Ürün kalite parametreleri	Pazar değeri ve tüketici güvenliği açısından önemlidir.	Verim artışı kalite kaybıyla birlikte değerlendirilmemelidir.
Ağır metal analizi	Gıda güvenliği riskini doğrudan ilgilendirir.	Riskli hammadde veya yapraklı/kök sebzelerde önceliklidir.
Ekonomik kayıt	Uygulamanın üreticiye gerçek katkısını gösterir.	Maliyet, verim, kalite ve analiz giderleri birlikte hesaplanmalıdır.

9. ARAŞTIRMA AÇISINDAN ÖNCELİKLİ KONULAR

Sebze yetiştiriciliğinde biyoçar kullanımına ilişkin çalışmalar artmakla birlikte, bazı alanlarda veri boşlukları devam etmektedir. Öncelikle kısa süreli saksı çalışmalarının sonuçları doğrudan tarla veya örtü altı üretim koşullarına genellenmemelidir. Farklı toprak tiplerinde, farklı sebze gruplarında ve farklı sulama suyu kalitelerinde uzun dönemli izleme çalışmalarına ihtiyaç vardır (Xu vd., 2025).

İkinci olarak kalite standardizasyonu güçlendirilmelidir. Araştırma makalelerinde kullanılan biyoçarın yalnızca adı değil; hammadde kaynağı, piroliz sıcaklığı, pH, EC, kül, toplam karbon, besin elementi içeriği ve varsa kirletici analizleri ayrıntılı biçimde raporlanmalıdır. Bu bilgiler olmadan çalışmaların karşılaştırılması ve üreticiye uygulanabilir öneri geliştirilmesi güçleşmektedir.

Üçüncü olarak ekonomik ve gıda güvenliği boyutu daha fazla çalışılmalıdır. Biyoçar uygulamasının verim, kalite, analiz maliyeti, taşıma gideri, karbon stabilizasyonu ve çevresel

risk azaltımı birlikte değerlendirilmelidir. Bu tür çalışmalar, biyoçarın yalnızca potansiyel bir toprak düzenleyici değil, yönetilebilir ve izlenebilir bir tarımsal girdi olarak konumlandırılmasına katkı sağlayacaktır.

10. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, sebze yetiştiriciliğinde biyoçar kullanımı; materyal kalitesi, ürün grubu hassasiyeti, gıda güvenliği ve risk temelli karar destek yaklaşımı çerçevesinde değerlendirilmiştir. Verilen kaynaklar içinden konu ile doğrudan ilişkili çalışmalar kullanılarak hazırlanan bu metin, biyoçarın yalnızca başka düzenleyicilerle oluşturduğu uygulama kombinasyonlarına değil, güvenli ve etkin kullanım için gerekli karar adımlarına odaklanmaktadır.

Biyoçarın sebze üretimindeki değeri, karbon içeriği veya gözenekli yapısıyla tek başına açıklanamaz. Hammadde tipi, piroliz koşulları, pH, EC, kül oranı, besin elementi içeriği ve potansiyel kirletici riski uygulama başarısını doğrudan etkiler. Bu nedenle biyoçar standart bir reçete olarak değil, karakterize edilmiş ve üretim koşullarına göre planlanmış bir materyal olarak kullanılmalıdır.

Yapraklı sebzeler, kök-yumru sebzeler, meyvesi yenen sebzeler, fide üretimi ve örtü altı sistemler biyoçar uygulamalarına farklı hassasiyetler gösterir. Yüksek pH, yüksek EC, ağır metal içeriği, organik kirletici riski ve kontrolsüz yüksek doz uygulamaları özellikle gıda amaçlı sebze üretiminde önemli riskler oluşturabilir. Bu nedenle uygulama öncesi materyal analizi, toprak ve su analizi, küçük ölçekli ön deneme ve uygulama sonrası düzenli izleme temel ilkeler olarak benimsenmelidir.

Sonuç olarak biyoçar, sebze yetiştiriciliğinde doğru seçildiğinde ve analiz temelli kullanıldığında toprak sağlığı, su yönetimi ve besin döngüsü açısından tamamlayıcı bir araç olabilir. Ancak güvenli kullanım için izlenebilir hammadde, kalite raporu, ürün grubuna özgü doz seçimi, gıda güvenliği odaklı izleme ve ekonomik değerlendirme birlikte ele alınmalıdır.

KAYNAKÇA

- Akay, A. (2022). Kireçli topraklarda farklı kükürt formları ile biyokömür uygulamalarının turp bitkisinin (*Raphanus sativus*) gelişimine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(3), 644-655. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1057675>
- Alkharabsheh, H. M., Seleiman, M. F., Battaglia, M. L., Shami, A., Jalal, R. S., Alhammad, B. A., Almutairi, K. F., & Al-Saif, A. M. (2021). Biochar and its broad impacts in soil quality and fertility, nutrient leaching and crop productivity: A review. *Agronomy*, 11(5), 993. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050993>
- Allohverdi, T., Mohanty, A. K., Roy, P., & Misra, M. (2021). A review on current status of biochar uses in agriculture. *Molecules*, 26(18), 5584. <https://doi.org/10.3390/molecules26185584>
- Awad, Y. M., Lee, S.-E., Ahmed, M. B. M., Vu, N. T., Farooq, M., Kim, I. S., Kim, H. S., Vithanage, M., Usman, A. R. A., Al-Wabel, M., Meers, E., Kwon, E. E., & Ok, Y. S. (2017). Biochar, a potential hydroponic growth substrate, enhances the nutritional status and growth of leafy vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 156, 581-588. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.070>

- Bi, R., Zhang, Q., Zhan, L., Xu, X., Zhang, X., Dong, Y., Yan, X., & Xiong, Z. (2022). Biochar and organic substitution improved net ecosystem economic benefit in intensive vegetable production. *Biochar*, 4, 46. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00168-9>
- Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 687-711. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0017>
- Bolan, S., Sharma, S., Mukherjee, S., Kumar, M., Rao, C. S., Nataraj, K. C., Singh, G., Vinu, A., Bhowmik, A., Sharma, H., El-Naggar, A., Chang, S. X., Hou, D., Rinklebe, J., Wang, H., Siddique, K. H. M., Abbott, L. K., Kirkham, M. B., & Bolan, N. (2024). Biochar modulating soil biological health: A review. *Science of the Total Environment*, 914, 169585. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169585>
- Campion, L., Bekchanova, M., Malina, R., & Kuppens, T. (2023). The costs and benefits of biochar production and use: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 408, 137138. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137138>
- Dai, Z., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, P. C., & Xu, J. (2017). Potential role of biochars in decreasing soil acidification: A critical review. *Science of the Total Environment*, 581-582, 601-611.
- Dickinson, D., Balduccio, L., Buysse, J., Ronsse, F., van Huylbroeck, G., & Prins, W. (2015). Cost-benefit analysis of using biochar to improve cereals agriculture. *GCB Bioenergy*, 7(4), 850-864. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12180>
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G., Zhou, L., & Zheng, B. (2016). Biochar to improve soil fertility: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36, 36. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z>
- Edeh, I. G., Mašek, O., & Buss, W. (2020). A meta-analysis on biochar's effects on soil water properties: New insights and future research challenges. *Science of the Total Environment*, 714, 136857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136857>
- Hossain, M. Z., Bahar, M. M., Sarkar, B., Donne, S. W., Ok, Y. S., Palansooriya, K. N., Kirkham, M. B., Chowdhury, S., & Bolan, N. (2020). Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar*, 2, 379-420. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>
- Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I., & Regina, K. (2011). Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity: Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(1-2), 309-313. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.005>
- Khan, Z., Rahman, M. H. U., Haider, G., Amir, R., Ikram, R. M., Ahmad, S., Schofield, H. K., Riaz, B., Iqbal, R., Fahad, S., Datta, R., Baazeem, A., El Sabagh, A., & Danish, S. (2021). Chemical and biological enhancement effects of biochar on wheat growth and yield under arid field conditions. *Sustainability*, 13(11), 5890. <https://doi.org/10.3390/su13115890>
- Korkmaz, H. E., Akgün, M., & Korkmaz, K. (2025). Effects of phosphorus-enriched biochar on the growth and phosphorus (P) uptake of iceberg lettuce. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15(2), 352-363. <https://doi.org/10.54370/ordubtd.1776027>
- Liao, S., Pan, B., Li, H., Zhang, D., & Xing, B. (2014). Detecting free radicals in biochars and determining their ability to inhibit the germination and growth of corn, wheat and rice seedlings. *Environmental Science & Technology*, 48(15), 8581-8587.

- Lu, T., Yuan, H., Wang, Y., Huang, H., & Chen, Y. (2016). Characteristic of heavy metals in biochar derived from sewage sludge. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 18(4), 725-733.
- Medyńska-Juraszek, A., Bednik, M., & Chohura, P. (2020). Assessing the influence of compost and biochar amendments on the mobility and uptake of heavy metals by green leafy vegetables. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 7861. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217861>
- Murtaza, G., Usman, M., Iqbal, J., Tahir, M. N., Elshikh, M. S., Alkahtani, J., Toleikiene, M., Iqbal, R., Akram, M. I., & Gruda, N. S. (2024). The impact of biochar addition on morpho-physiological characteristics, yield and water use efficiency of tomato plants under drought and salinity stress. *BMC Plant Biology*, 24, 356. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05058-9>
- Oleszczuk, P., Joško, I., Futa, B., Pasiieczna-Patkowska, S., Pałys, E., & Kraska, P. (2014). Effect of pesticides on microorganisms, enzymatic activity and plant in biochar-amended soil. *Geoderma*, 214-215, 10-18.
- Premalatha, R. P., Poorna Bindu, J., Nivetha, E., Malarvizhi, P., Manorama, K., Parameswari, E., & Davamani, V. (2023). A review on biochar's effect on soil properties and crop growth. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1092637. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1092637>
- Purakayastha, T. J., Kumari, S., & Pathak, H. (2015). Characterisation, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues. *Geoderma*, 239-240, 293-303.
- Quilliam, R. S., Glanville, H. C., Wade, S. C., & Jones, D. L. (2013). Life in the “charosphere”: Does biochar in agricultural soil provide a significant habitat for microorganisms? *Soil Biology & Biochemistry*, 65, 287-293.
- Ruan, X., Sun, Y., Du, W., Tang, Y., Liu, Q., Zhang, Z., Doherty, W., & Frost, R. L. (2019). Formation, characteristics, and applications of environmentally persistent free radicals in biochars: A review. *Bioresource Technology*, 281, 457-468.
- Wang, X., Zhao, Y., Yao, G., Lin, Z., Xu, L., Jiang, Y., Jin, Z., Shan, S., & Ping, L. (2023). Responses of aquatic vegetables to biochar amended soil and water environments: A critical review. *RSC Advances*, 13(7), 4407-4421. <https://doi.org/10.1039/D2RA04847G>
- Wang, X., Li, C., Li, Z., Yu, G., & Wang, Y. (2019). Effect of pyrolysis temperature on characteristics, chemical speciation and risk evaluation of heavy metals in biochar derived from textile dyeing sludge. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 168, 45-52.
- Xu, X., Wang, H., Egun, I. L., Gan, T., Huang, Z., Liu, H., Gustave, W., & Zhang, X. (2025). Enhancing vegetable yield and quality with biochar: Prospects and challenges. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1621366. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1621366>

AĞCILIKTA SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞE GEÇİŞ: İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ, POLİTİK HEDEFLER VE BİYOSTİMULANTLARIN DÖNÜŞTÜRÜCÜ ROLÜ

Adnan DOĞAN¹,

¹Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, 65100 Van, Türkiye. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0349-3846>

adnandogan@yyu.edu.tr

Bulut Sarğın^{2*}

²Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, 65100 Van, Türkiye. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4752-4333>

bulutsargin@yyu.edu.tr

*Corresponding Author: Bulut Sarğın, Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, 65100 Van, Türkiye.

e-mail: bulutsargin@yyu.edu.tr

ÖZET

Küresel bağcılık, kuraklık, yüksek sıcaklık, tuzluluk, düzensiz yağış rejimi ve hastalık baskısı gibi stres faktörlerine giderek daha fazla maruz kalmakta; aynı zamanda sürdürülebilirlik politikaları kimyasal girdi kullanımının azaltılmasını ve su ile besin elementlerinin daha etkin kullanılmasını teşvik etmektedir. Bu bağlamda bitki biyostimulantları, asmanın dayanıklılığını, kaynak kullanım etkinliğini ve üzüm kalitesini artırmaya yönelik tamamlayıcı araçlar olarak önem kazanmaktadır. Bu derlemede, biyostimulantların sürdürülebilir bağcılıktaki rolü; besin kullanım etkinliği, abiyotik ve biyotik streslerin hafifletilmesi, üzüm kalite parametrelerinin iyileştirilmesi ve toprak sağlığının desteklenmesi temelinde fonksiyonel bir çerçevede değerlendirilmiştir. Ele alınan başlıca ürün grupları arasında arbüsküler mikorizal funguslar, bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler, mikrobiyal konsorsiyumlar, deniz yosunu ekstraktları, hümit ve fulvik maddeler, amino asitler, elisitörler, silisyum-melatonin kombinasyonları ve nanoteknoloji temelli formülasyonlar yer almaktadır. Mevcut kanıtlar, biyostimulant etkinliğinin çeşit ve anaç, fenolojik dönem, uygulama yöntemi, toprak ve iklim koşulları, stres şiddeti ve ekonomik fizibilite gibi faktörlere bağlı olduğunu gösterebilir. Bu nedenle biyostimulantlar, gübre veya pestisitlerin doğrudan ikamesi olarak değil, entegre bağ yönetiminin tamamlayıcı bileşenleri olarak değerlendirilmelidir. Bununla birlikte, saha koşullarındaki değişken sonuçlar, ürün standardizasyonundaki yetersizlikler, etki mekanizmalarının tam olarak açıklanamaması, yeni formülasyonlara ilişkin çevresel risk belirsizlikleri ve çiftlik ölçeğinde ekonomik veri eksikliği önemli sınırlılıklar olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak biyostimulantlar, yerel koşullar, doğrulanmış ürün kalitesi, uzun dönemli saha kanıtları ve karar destek yaklaşımlarıyla birlikte kullanıldığında iklim dirençli ve sürdürülebilir bağcılığa katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Biyostimulantlar; bağcılık; sürdürülebilirlik; iklim değişikliği; abiyotik stres; toprak sağlığı.

TRANSITION TO SUSTAINABILITY IN VITICULTURE: CLIMATE CHANGE, POLICY TARGETS, AND THE TRANSFORMATIVE ROLE OF BIOSTIMULANTS**ABSTRACT**

Global viticulture is increasingly exposed to drought, heat, salinity, irregular precipitation, and disease pressure, while sustainability policies encourage reductions in chemical inputs and more efficient use of water and nutrients. In this context, plant biostimulants are gaining importance as complementary tools for improving vine resilience, resource-use efficiency, and berry quality. This review evaluates the role of biostimulants in sustainable viticulture through a functional framework covering nutrient-use efficiency, abiotic and biotic stress mitigation, berry quality improvement, and soil health. The main product groups considered include arbuscular mycorrhizal fungi, plant growth-promoting rhizobacteria, microbial consortia, seaweed extracts, humic and fulvic substances, amino acids, elicitors, silicon-melatonin combinations, and nanotechnology-based formulations. Current evidence indicates that biostimulant performance is highly context dependent and is influenced by cultivar and rootstock, phenological timing, application method, soil and climatic conditions, stress intensity, and economic feasibility. Therefore, these products should not be considered direct substitutes for fertilizers or pesticides, but rather as components of integrated vineyard management. Major limitations remain, including inconsistent field responses, insufficient product standardization, incomplete understanding of mechanisms of action, uncertain environmental risks of novel formulations, and limited farm-level economic data. Overall, biostimulants may contribute to climate-resilient and sustainable viticulture when their use is guided by local conditions, verified product quality, long-term field evidence, and decision-support approaches.

Keywords: Biostimulants; viticulture; sustainability; climate change; abiotic stress; soil health.

1. Giriş

Bağcılık, iklim değişikliğinin etkilerini belirgin biçimde hissettiren çok yıllık tarımsal üretim alanlarından biridir. Artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimi, kurak dönemlerin uzaması ve sıcak hava dalgalarının daha sık görülmesi, asmanın büyüme ve olgunlaşma süreçlerini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu koşullar altında fotosentez, stoma iletkenliği, su kullanım etkinliği ve tane gelişimi gibi temel fizyolojik süreçlerde değişimler meydana gelebilir (Monteiro vd., 2022; Irani vd., 2021). Özellikle olgunlaşma döneminde şeker birikimi ile fenolik olgunluk arasındaki dengenin bozulması, hem sofralık hem de şaraplık üzümelerde kalite yönetimini daha güç hâle getirebilir (Cataldo vd., 2022). İklim baskısının bağcılık üzerindeki etkisi yalnızca verim ve kaliteyle sınırlı değildir. Kuraklık ve yüksek sıcaklık gibi stresler, asmanın savunma kapasitesini etkileyebilmekte ve bazı fungal hastalıkların yönetimini daha karmaşık hâle getirebilmektedir. Bu durum, bağcılıkta yalnızca üretimi artırmaya odaklanan geleneksel yaklaşımların yeterli olmayabileceğini gösterebilir. Sürdürülebilir bağcılık; su, besin elementi, toprak sağlığı, mikrobiyal denge ve bitki stres fizyolojisini birlikte ele alan daha bütüncül bir üretim anlayışına ihtiyaç duymaktadır (Jindo vd., 2022; Puccioni vd., 2025). Bu dönüşümün arka planında iklimsel baskıların yanında tarımsal politikalar da yer almaktadır. Avrupa Yeşil

Mutabakatı ve Çiftlikten Çatala Stratejisi, pestisit ve gübre kullanımının azaltılması, organik üretim alanlarının artırılması ve tarımsal üretimde çevresel yükün düşürülmesi gibi hedefler ortaya koymuştur (European Commission, 2020). Bu hedefler, bağıcılıkta kimyasal girdilere bağımlılığı azaltırken verim ve kaliteyi koruyabilecek tamamlayıcı uygulamaların önemini artırmıştır. Bu bağlamda biyostimulantlar, sürdürülebilir ve iklim koşullarına daha uyumlu bağıcılık sistemleri için değerlendirilen araçlardan biri hâline gelmiştir.

Bitki biyostimulantları, bitkiye doğrudan besin sağlamaktan çok, bitkinin doğal fizyolojik süreçlerini uyaran ürünler olarak değerlendirilmektedir. Bu ürünler; besin alım etkinliğini artırma, abiyotik stres toleransını destekleme, kalite özelliklerini iyileştirme ve rizosferde besin yayılımını artırma gibi farklı işlevler gösterebilir (Du Jardin, 2015; Rouphael & Colla, 2020). Bu yönüyle biyostimulantlar, klasik gübre veya pestisitlerden ayrılmakta; bitki metabolizması, kök gelişimi, antioksidan savunma, hormonal denge ve toprak mikrobiyomu üzerinde dolaylı etkiler oluşturmaktadır (Cataldo vd., 2022; Verdugo-Gaxiola vd., 2025). Avrupa Birliği'nin 2019/1009 sayılı düzenlemesi de bitki biyostimulantlarını, besin kullanım etkinliği, abiyotik stres toleransı, kalite özellikleri ve rizosferde besin yayılımıyla ilişkili işlevler üzerinden tanımlamaktadır (European Parliament and Council of the European Union, 2019).

Bağıcılıkta kullanılan biyostimulantlar; arbüsküler mikorizal funguslar (AMF), bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), deniz yosunu ekstraktları, hümitik ve fulvik asitler, amino asitler, protein hidrolizatları, elisitörler, silisyum ve nanoteknoloji temelli bazı formülasyonları kapsamaktadır. Ancak bu ürünlerin etkisi tek tip değildir. Uygulama zamanı, doz, çeşit/anaç kombinasyonu, toprak koşulları, su stresi düzeyi ve çevresel faktörler sonucu etkileyebilir (Franzoni vd., 2022; Olavarrieta vd., 2022). Bu çalışmanın amacı, bağıcılıkta biyostimulant kullanımını güncel bilimsel kanıtlar doğrultusunda değerlendirmek; bu ürünlerin verim, kalite, stres toleransı ve sürdürülebilirlik hedefleriyle ilişkisini eleştirel bir bakışla ortaya koymaktır. Makalede biyostimulant etkinliğini sınırlayan faktörler, uygulama başarısını etkileyen koşullar ve gelecekte araştırılması gereken başlıca konular da tartışılmıştır. Böylece biyostimulantların bağıcılıkta tek başına çözüm olarak değil, doğru koşullarda ve uygun yönetim stratejileriyle değerlendirilebilecek tamamlayıcı araçlar olduğu vurgulanmıştır.

2. Biyostimulantların Etki Mekanizmaları ve Bağıcılıktaki Fonksiyonel Sınıflandırması

Biyostimulantlar, bağıcılıkta farklı köken ve içeriklere sahip ürün gruplarını kapsayan geniş bir uygulama alanı oluşturmaktadır. Mikrobiyal inokulantlar, deniz yosunu ekstraktları, hümitik ve fulvik asitler, amino asitler, protein hidrolizatları, elisitörler ve bazı yeni nesil formülasyonlar bu kapsamda değerlendirilmektedir. Bu ürünlerin etkileri yalnızca içeriklerine bağlı değildir; uygulama zamanı, doz, çeşit/anaç kombinasyonu, toprak özellikleri, su durumu ve çevresel stres koşulları da sonuç üzerinde belirleyici olabilmektedir (Du Jardin, 2015; Rouphael & Colla, 2020; Cataldo vd., 2022). Bağıcılık açısından biyostimulantları yalnızca kaynaklarına göre sınıflandırmak çoğu zaman yeterli değildir. Aynı ürün, bir koşulda kök gelişimini ve besin alımını desteklerken, başka bir koşulda stres toleransı veya kalite bileşenleri üzerinde daha belirgin bir etki gösterebilir. Bu nedenle bu çalışmada biyostimulantlar, bağ sistemindeki başlıca işlevleri dikkate alınarak dört başlık altında değerlendirilmiştir: besin alım verimliliğini

destekleyenler, abiyotik stres toleransı ile ilişkilendirilenler, üzüm kalite parametrelerini etkileyenler ve toprak sağlığı ile mikrobiyal aktiviteye katkı sağlayanlar.

Bu işlevsel sınıflandırma Çizelge 1’de özetlenmiştir. Çizelge 1’de her biyostimulant grubu, temel etki mekanizması ve bağıcılıkta bildirilen başlıca etkileriyle birlikte verilmiştir. Görsel 1 ise bu grupların bitki fizyolojisi, rizosfer süreçleri ve kalite oluşumu arasındaki ilişkisini görsel olarak gösterebilir. Burada dikkat çeken nokta, biyostimulant etkisinin çoğu zaman tek bir mekanizmayla sınırlı olmamasıdır. Örneğin AMF uygulamaları besin alımıyla ilişkilendirilirken, aynı zamanda su alımı, toprak agregasyonu ve stres yanıtları üzerinde de etkili olabilmektedir (Smith & Read, 2008; Jindo vd., 2022).



Görsel 1. Biyostimulantların bağıcılıkta dört ana fonksiyonel etki alanı (besin alımı, stres toleransı, kalite iyileştirme, toprak sağlığı) ve bu etkilerin altında yatan temel mekanizmalar. Aynı biyostimulant türü birden fazla mekanizma yoluyla farklı fonksiyonel kategorilere katkıda bulunabilir.

Bu yaklaşım, biyostimulantların bağıcılıkta yalnızca verim artışıyla ilişkilendirilmesinin eksik kalabileceğini gösterebilir. Daha dengeli bir değerlendirme için ürünün hangi koşulda, hangi dönemde ve hangi fizyolojik hedef için uygulandığı dikkate alınmalıdır. Bu nedenle biyostimulant kullanımı, bağın mevcut sorunları ve üretim hedefleriyle birlikte planlandığında daha anlamlı bir yönetim aracı hâline gelebilir (Jindo vd., 2022; Verdugo-Gaxiola vd., 2025).

Çizelge 1. Biyostimulantların Fonksiyonel Sınıflandırması ve Etki Mekanizmaları

Fonksiyonel Kategori	Biyostimulant Türü	Temel Etki Mekanizmaları	Bağcılıkta Gözlenen Etkiler	Örnek Çalışmalar
Besin alım verimliliğini destekleyenler	AMF	Hif ağı ile besin alım yüzeyini genişletme; glomalin salgısı	P, N ve Zn alımını ve kök gelişimini destekleyebilir	Smith & Read, 2008; Jindo vd., 2022
	PGPR	Azot fiksasyonu, fosfat çözünürlüğü, siderofor üretimi	Besin alımı ve bitki gelişimiyle ilişkili olumlu yanıtlar oluşturabilir	Backer vd., 2018
	Hümk/fulvik asitler	Kasyon değişim kapasitesini ve H ⁺ -ATPaz aktivitesini destekleme	Mikro besin alımı ve kök gelişimiyle ilişkili etkiler gösterebilir	Canellas vd., 2015; Yuan vd., 2022
	Deniz yosunu ekstraktları	Kök gelişimini destekleyebilen hormon benzeri bileşikler	Besin alımına dolaylı katkı sağlayabilir	Frioni vd., 2018
Abiyotik stres toleransıyla ilişkilendirilenler	AMF	Su alımı, stoma düzeni ve antioksidan savunmayla ilişkili etkiler	Kuraklıkta su kullanım etkinliğini destekleyebilir	Irani vd., 2021
	PGPR	ACC deaminaz aktivitesi; antioksidan enzimlerin desteklenmesi	Kuraklık, tuzluluk ve sıcaklık streslerinde destekleyici rol oynayabilir	Duan vd., 2021
	Deniz yosunu ekstraktları	Osmoprotektanlar (betain, mannitol) ve antioksidan savunma	Stres koşullarında fotosentetik aktivitenin sürdürülmesine katkı sağlayabilir	Zarraonaindia vd., 2023
	Amino asitler	Osmoregülasyon, antioksidan yanıt ve sinyal süreçleri	Stres sonrası toparlanma ve hücre su dengesiyle ilişkilendirilebilir	Ingrisano vd., 2023; Bavaresco vd., 2020
	Melatonin + Silisyum	ROS yönetimi, antioksidan enzim düzeni ve fiziksel bariyer etkisi	Termal ve oksidatif stres yanıtlarını destekleyebilir	Arnao & Hernández-Ruiz, 2019; Coskun vd., 2019; Pereira vd., 2025
	Nano-CeO ₂	Nano-enzim benzeri aktivite; stres genleriyle ilişkili yanıtlar	Kuraklıkta oksidatif hasar göstergeleriyle ilişkili değişimler oluşturabilir	Daler, 2024
Kalite parametreleriyle ilişkilendirilenler	Elisitörler	SAR/ISR yolları ve savunma genlerinin uyarılması	Biyotik stres yanıtlarını destekleyebilir	Brulé vd., 2024
	Deniz yosunu ekstraktları	Hormon dengesi ve sekonder metabolizma süreçleri	Antosiyanin, fenolik madde ve olgunlaşma göstergeleriyle ilişkili etkiler gösterebilir	Frioni vd., 2018; Doğan & Yazar, 2025
	Hümk/fulvik asitler	Besin alımı ve şeker metabolizmasıyla ilişkili süreçler	SÇKM ve olgunlaşma süreciyle ilişkili sonuçlar verebilir	Ahmed, 2023
	Amino asitler	Fenolik bileşik öncülleri ve metabolik düzenleme	Antosiyanin, askorbik asit ve fenolik içerikle ilişkili etkiler gösterebilir	Hallaç Türk & Kurt, 2025
Toprak sağlığını destekleyenler	Mikrobiyal biyostimulantlar	Bitki metabolizması ve uçucu bileşiklerle ilişkili süreçler	Kalite parametrelerine dolaylı katkı sağlayabilir	Castiglione vd., 2021
	AMF	Glomalin salgısı, agregat stabilitesi ve hifosfer mikrobiyotası	Toprak yapısı ve mikrobiyal çeşitlilikle ilişkili olumlu yanıtlar oluşturabilir	Jindo vd., 2022; Wang vd., 2023

Fonksiyonel Kategori	Biyostimulant Türü	Temel Etki Mekanizmaları	Bağcılıkta Gözlenen Etkiler	Örnek Çalışmalar
	PGPR	Organik madde ayrışması, besin döngüsü ve biyokontrol süreçleri	Rizosfer mikrobiyal aktivitesini destekleyebilir	Hakim vd., 2021
	Hüyük maddeler	Katyon değişim kapasitesi ve mikrobiyal karbon kaynağı etkisi	Toprak verimliliği göstergelerini destekleyebilir	Canellas vd., 2015
	Organik kaynaklı ürünler	Organik karbon girdisi ve mikrobiyal biyokütleyle ilişkili etkiler	Toprak biyolojik aktivitesine katkı sağlayabilir	Xu & Geelen, 2018

2.1. Besin Alım Verimliliğini Destekleyen Biyostimulantlar

Bağlarda besin alımı, yalnızca toprakta bulunan besin elementi miktarıyla açıklanamaz. Kök gelişimi, rizosfer mikrobiyal aktivitesi, toprak pH'sı, organik madde düzeyi, nem durumu ve besin elementlerinin yarayışlılığı bu süreci birlikte etkiler. Bu nedenle bazı biyostimulantlar, bitkiye doğrudan besin sağlamak yerine, mevcut besinlerin alınabilirliğini ve kök bölgesindeki biyolojik aktiviteyi destekleyerek dolaylı bir etki oluşturabilir. Bu grupta AMF ve PGPR gibi mikrobiyal biyostimulantlar öne çıkmaktadır. AMF'ler, köklerle simbiyotik ilişki kurarak hif ağı aracılığıyla kökün doğrudan ulaşmadığı toprak hacminden fosfor, çinko ve bazı diğer elementlerin alımına katkı sağlayabilir (Smith & Read, 2008; Rouphael vd., 2015). Ayrıca glomalin üretimiyle toprak agregat stabilitesini desteklemeleri, kök bölgesinde su ve besin hareketi açısından daha elverişli bir ortam oluşmasına yardımcı olabilir (Jindo vd., 2022).

PGPR'ler ise azot fiksasyonu, fosfat çözünürlüğü, siderofor üretimi ve bazı büyüme düzenleyici bileşiklerin sentezi yoluyla rizosferde besin döngüsünü etkileyebilmektedir. Bu bakteriler, özellikle kök gelişimini destekleyerek bitkinin absorpsiyon yüzeyini genişletebilir ve besin alım kapasitesine katkı sağlayabilir (Backer vd., 2018; Hakim vd., 2021). Bununla birlikte, PGPR etkisinin kullanılan suşa, toprak koşullarına ve bağın stres düzeyine bağlı olarak değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Hüyük ve fulvik asitler de besin alım verimliliğiyle ilişkilendirilen önemli biyostimulant gruplarıdır. Hüyük maddeler, toprakta katyon değişim kapasitesini artırarak bazı besin elementlerinin kök bölgesinde daha uzun süre tutulmasına katkıda bulunabilir. Fulvik asitler ise düşük moleköl ağırlıkları nedeniyle mikro elementlerin taşınımı ve yarayışlılığı üzerinde etkili olabilir (Canellas vd., 2015; Yuan vd., 2022). Bu etkiler, özellikle organik madde düzeyi düşük veya besin elementlerinin yarayışlılığı sınırlı bağ topraklarında daha önemli hâle gelebilir.

Deniz yosunu ekstraktları, içerdiği biyoaktif bileşikler nedeniyle kök gelişimi ve bitki metabolizması üzerinde destekleyici etkiler oluşturabilir. Özellikle *Ascomyllum nodosum* kaynaklı ekstraktların bağcılıkta fizyolojik performans, olgunlaşma ve kalite parametreleriyle ilişkili olumlu sonuçlar verebildiği bildirilmiştir (Frioni vd., 2018; Doğan & Yazar, 2025). Bu nedenle deniz yosunu ekstraktları, Çizelge 1'de de gösterildiği gibi yalnızca besin alımıyla değil, kalite ve stres yanıtlarıyla da ilişkilendirilebilecek çok yönlü ürünler arasında yer almaktadır. Besin alımını destekleyen biyostimulantların mineral gübrelerin doğrudan yerine

geçmesi beklenmemelidir. Daha uygun yaklaşım, bu ürünleri gübreleme etkinliğini artırabilecek ve kök-rizosfer süreçlerini destekleyebilecek tamamlayıcı uygulamalar olarak değerlendirmektir. Bu bakış, özellikle düşük girdi hedeflenen veya çevresel baskıların daha belirgin olduğu bağ alanlarında daha dengeli bir besleme yönetimi kurulmasına katkı sağlayabilir.

2.2. Stres Koşullarında Fizyolojik Dayanıklılığı Destekleyen Uygulamalar

Bağcılıkta kuraklık, yüksek sıcaklık, tuzluluk ve aşırı ışık gibi stres koşulları; asmanın su dengesi, fotosentez kapasitesi, stoma davranışı ve olgunlaşma süreci üzerinde baskı oluşturabilmektedir. Bu stresler uzun sürdüğünde yaprak su potansiyelinde düşüş, klorofil bütünlüğünde bozulma, reaktif oksijen türlerinde artış ve tane gelişiminde düzensizlikler görülebilir (Monteiro vd., 2022; Irani vd., 2021; Petoumenou & Liava, 2025). Bu nedenle biyostimulantlar, bağcılıkta stres koşullarını tamamen ortadan kaldırması beklenen ürünler olarak değil, bitkinin mevcut fizyolojik yanıtlarını destekleyebilecek tamamlayıcı uygulamalar olarak ele alınmalıdır. Bu başlık altında AMF, PGPR, deniz yosunu ekstraktları, amino asitler, protein hidrolizatları, silisyum, melatonin ve bazı nano-formülasyonlar öne çıkmaktadır. Çizelge 1’de bu grupların stres toleransı ile ilişkilendirilen başlıca mekanizmaları özetlenmiştir. Görsel 1’de ise bu mekanizmaların besin alımı, kalite oluşumu ve toprak sağlığıyla bağlantılı olduğu görülmektedir. Bu ilişki, stres yönetiminde tek bir ürün grubundan çok, bağın koşullarına uygun bütüncül bir yaklaşımın daha anlamlı olabileceğini düşündürmektedir.

Mikrobiyal biyostimulantlar içinde AMF ve PGPR, kök-rizosfer ilişkisini düzenlemeleri nedeniyle dikkat çekmektedir. AMF’ler hif ağı aracılığıyla kökün ulaşamadığı toprak hacminden su ve besin alımına katkı sağlayabilir; bu durum kuraklık altında yaprak su durumunun ve fotosentetik aktivitenin korunmasına yardımcı olabilir (Smith & Read, 2008; Rouphael vd., 2015; Irani vd., 2021). PGPR’ler ise ACC deaminaz aktivitesiyle stres etilenini azaltabilir, antioksidan savunma sistemlerini destekleyebilir ve kök gelişimi üzerinden bitkinin stres koşullarına uyumunu kolaylaştırabilir (Backer vd., 2018; Duan vd., 2021). Papantzikos vd. (2024), rizobakteri temelli uygulamaların su kısıtı altında asma fizyolojisiyle ilişkili bazı parametreleri destekleyebileceğini bildirmiştir.

Deniz yosunu ekstraktları, özellikle *Ascophyllum nodosum* kaynaklı ürünler, kuraklık ve sıcaklık stresleriyle ilişkili çalışmalarda sık incelenmektedir. Bu ekstraktlarda bulunan betainler, mannitol, polisakkaritler ve fenolik bileşikler; ozmotik denge, antioksidan savunma ve fotosentetik pigmentlerin korunmasıyla ilişkilendirilmektedir (Frioni vd., 2018; Frioni vd., 2021). Zarraonaindia vd. (2023), asmanın deniz yosunu ekstraktlarına verdiği yanıtın yalnızca fizyolojik düzeyde değil, biyokimyasal ve mikrobiyal süreçlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Amino asitler ve protein hidrolizatları da stres dönemlerinde metabolik sürekliliği destekleyebilecek ürünler arasında yer almaktadır. Prolin, glutamat ve bazı kısa peptitler; hücre içi su dengesi, antioksidan yanıt ve stres sonrası toparlanma süreçleriyle ilişkilendirilmektedir (Bavaresco vd., 2020; Peli vd., 2024; Ingrisano vd., 2023). Hallaç Türk ve Kurt (2025), amino asit ve hümitik asit temelli uygulamaların üzümde bazı verim ve kalite özellikleriyle ilişkili olumlu sonuçlar verebildiğini bildirmiştir. Ancak bu ürünlerde etki düzeyinin kaynak

materyale, hidroliz yöntemine, doza ve uygulama dönemine göre değişebileceği dikkate alınmalıdır. Silisyum ve melatonin gibi uygulamalar, daha çok oksidatif stresin azaltılması ve yapısal dayanıklılığın desteklenmesi bağlamında değerlendirilmektedir. Melatonin, antioksidan savunma mekanizmalarıyla; silisyum ise yaprak yüzeyi ve hücre duvarı düzeyinde oluşturduğu fiziksel destekle ilişkilendirilmektedir (Arnao & Hernández-Ruiz, 2019; Coskun vd., 2019). Pereira vd. (2025), kaolin ve silisyum uygulamalarının yaz stresi altında asmanın su ilişkileri ve gaz değişim parametreleri üzerinde destekleyici etkiler oluşturabileceğini bildirmiştir. Nano-CeO₂ gibi nanoteknoloji temelli uygulamalar ise kuraklık ve oksidatif stres yönetimi açısından araştırılmakla birlikte, bu ürünlerin doz, çevresel güvenlik ve toprak mikrobiyomu üzerindeki uzun dönemli etkileri daha dikkatli ele alınmalıdır (Daler, 2024; Kumari vd., 2023; Mgadi vd., 2024). Stres toleransına yönelik biyostimulant uygulamalarında ürün seçimi kadar uygulama zamanı da belirleyicidir. Çiçeklenme, tane tutumu, tane büyümesi ve bendüşme dönemleri, stresin verim ve kaliteye yansıdığı hassas dönemlerdir. Bu nedenle biyostimulant uygulamaları, bağın su durumu, çeşit/anaç kombinasyonu ve beklenen stres tipi dikkate alınarak planlandığında daha tutarlı sonuçlar verebilir.

2.3. Üzüm Kalite Özellikleri İlişkili Biyostimulantlar

Üzüm kalitesi; SÇKM, titre edilebilir asitlik, pH, tane iriliği, salkım ağırlığı, fenolik bileşikler, antosiyaninler, aroma bileşenleri ve antioksidan kapasite gibi farklı parametrelerin birlikte değerlendirilmesiyle açıklanabilir. Bu parametreler; çeşit, anaç, iklim, sulama, beslenme durumu ve hasat zamanı gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Biyostimulant uygulamaları da bu süreçlerde doğrudan veya dolaylı etkiler oluşturabilir (Cataldo vd., 2022; Verdugo-Gaxiola vd., 2025).

Kalite özellikleriyle en sık ilişkilendirilen biyostimulant grupları deniz yosunu ekstraktları, hümit ve fulvik asitler, amino asitler, protein hidrolizatları ve bazı mikrobiyal uygulamalardır. Çizelge 1’de bu ürün gruplarının kalite parametreleriyle ilişkili etkileri özetlenmiştir. Görsel 1’de ise kalite oluşumunun yalnızca meyve metabolizmasıyla değil; besin alımı, stres toleransı ve toprak sağlığıyla da bağlantılı olduğu gösterilmektedir.

Deniz yosunu ekstraktları, özellikle tane büyümesi, bendüşme ve olgunlaşma dönemlerinde uygulandığında üzümde şeker birikimi, renk gelişimi ve fenolik bileşik oluşumu üzerinde etkili olabilir. Bu etkiler, ekstraktların içerdiği hormon benzeri maddeler, polisakkaritler ve antioksidan bileşiklerle ilişkilendirilmektedir. Frioni vd. (2018), deniz yosunu ekstraktlarının üzüm olgunlaşması ve kalite parametreleri üzerinde etkili olabileceğini bildirmiştir. Doğan ve Yazar (2025) ise Alphonse Lavallée üzüm çeşidinde deniz yosunu uygulamalarının bazı fizyolojik ve kalite özelliklerini destekleyebildiğini bildirmiştir.

Hümit ve fulvik asitler, kök gelişimi ve besin alımını desteklemeleri nedeniyle kalite oluşumuna dolaylı katkı sağlayabilir. Bu ürünlerin özellikle SÇKM, tane gelişimi ve salkım özellikleri üzerinde olumlu sonuçlar verebildiği bildirilmektedir. Ahmed (2023), Superior Seedless çeşidinde hümit asit uygulamalarının SÇKM değerlerinde artışla ilişkili olduğunu belirtmiştir. El-Salhy vd. (2023) ise hümit ve fulvik asitlerin mineral azot azaltımıyla birlikte kullanıldığında verim ve salkım özelliklerini destekleyebileceğini bildirmiştir.

Amino asitler ve protein hidrolizatları, sekonder metabolizma ile ilişkileri nedeniyle kalite başlığında ayrı bir önem taşımaktadır. Özellikle fenilalanin gibi bazı amino asitler, fenolik bileşiklerin sentezinde öncü rol oynayabilir. Hallaç Türk ve Kurt (2025), Öküzgözü üzüm çeşidinde amino asit ve hümitik asit bazlı uygulamaların verim, salkım ağırlığı, antosiyanin ve askorbik asit gibi bazı kalite özellikleriyle ilişkili sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Benzer şekilde farklı sofralık üzüm çeşitlerinde amino asit uygulamalarının verim ve kalite parametrelerini destekleyebildiği belirtilmiştir (Abada, 2023; Rashid & Al-Atrushy, 2023).

Mikrobiyal biyostimulantların kalite üzerine etkisi çoğu zaman doğrudan değil, bitkinin genel fizyolojik durumunu desteklemesiyle ortaya çıkmaktadır. AMF ve PGPR uygulamaları, kök gelişimi, besin alımı ve stres toleransı üzerinde etkili olarak tane gelişimi ve kalite bileşenlerine katkı sağlayabilir. Castiglione vd. (2021), mikrobiyal biyostimulantların üzümde antioksidan kapasite ve bazı kalite özellikleriyle ilişkili olabileceğini bildirmiştir.

Kaliteyi hedefleyen biyostimulant uygulamalarında fenolojik dönem dikkatle değerlendirilmelidir. Çiçeklenme sonrası dönem, tane büyümesi, bendüşme ve olgunlaşma evresi, uygulamaların kaliteye yansımaları açısından farklı önem taşır. Bu nedenle biyostimulant seçimi, yalnızca ürün grubuna göre değil, hedeflenen kalite parametresi ve uygulama zamanı dikkate alınarak yapılmalıdır.

2.4. Toprak Sağlığı ve Rizosfer Aktivitesini Destekleyen Biyostimulantlar

Sürdürülebilir bağcılıkta toprak sağlığı, yalnızca besin elementi düzeyiyle değil; organik madde, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi, mikrobiyal çeşitlilik ve rizosferdeki biyolojik süreçlerle birlikte değerlendirilmelidir. Bağ topraklarında uzun süreli yoğun işleme, düşük organik madde ve kimyasal girdilere bağlı baskılar, kök çevresindeki biyolojik aktiviteyi sınırlayabilir. Bu nedenle bazı biyostimulantlar, bitki gelişimini doğrudan uyarmaktan çok, toprak-kök-mikroorganizma etkileşimini destekleyen uygulamalar olarak önem kazanmaktadır (Jindo vd., 2022; Roche vd., 2024).

Toprak sağlığıyla en yakından ilişkilendirilen biyostimulant grupları AMF, PGPR, hümitik maddeler, mikrobiyal konsorsiyumlar ve organik kaynaklı ürünlerdir. Çizelge 1’de bu ürün gruplarının toprak yapısı, besin döngüsü ve mikrobiyal aktiviteyle ilişkili etkileri özetlenmiştir. Görsel 1’de ise toprak sağlığının besin alımı ve stres toleransı ile bağlantılı olduğu görülmektedir. Bu ilişki, biyostimulantların etkisinin yalnızca bitki dokularında değil, kök çevresindeki biyolojik ortamda da şekillenebileceğini gösterebilir.

AMF’ler, hif ağı ve glomalin üretimi yoluyla toprak agregat stabilitesini destekleyebilir. Bu durum, toprakta suyun tutulması, hava-su dengesinin korunması ve kök gelişimi için daha uygun bir ortam oluşmasıyla ilişkilendirilmektedir (Smith & Read, 2008; Jindo vd., 2022). Wang vd. (2023), AMF hifosferinin fosfor döngüsü ve mikrobiyal topluluk yapısı üzerinde etkili olabileceğini bildirmiştir. Bu yönüyle AMF uygulamaları, yalnızca besin alımına katkı sağlayan biyostimulantlar olarak değil, aynı zamanda rizosfer işlevlerini destekleyen biyolojik araçlar olarak da değerlendirilebilir.

PGPR’ler, rizosferde organik madde ayrışması, fosfat çözünürlüğü, siderofor üretimi ve bazı biyokontrol süreçleriyle ilişkilendirilmektedir. Bu bakteriler, kök çevresinde besin elementlerinin daha yararlı hâle gelmesine ve mikrobiyal aktivitenin desteklenmesine katkı

sağlayabilir (Backer vd., 2018; Hakim vd., 2021). Mikrobiyal konsorsiyumlar ise farklı mikroorganizma gruplarının birlikte kullanılmasıyla daha dengeli bir rizosfer yanıtı oluşturabilir. Darriaut vd. (2025), bağ kökenli rizobakteriler ile ticari AMF uygulamalarının kök mikrobiyomu üzerinde değişimler oluşturabileceğini bildirmiştir.

Hümk ve fulvik asitler, toprakta katyon değişim kapasitesi, besin tutunumu ve mikrobiyal aktiviteyle ilişkili etkileri nedeniyle bu başlık altında ayrıca ele alınabilir. Hümk maddeler, organik madde düzeyi düşük topraklarda besinlerin kök bölgesinde daha uzun süre tutulmasına yardımcı olabilirken; fulvik asitler bazı mikro besinlerin taşınımını kolaylaştırabilir (Canellas vd., 2015; Yuan vd., 2022). Organik kaynaklı biyostimulantlar ve atık temelli ürünler ise döngüsel ekonomi yaklaşımı içinde değerlendirildiğinde, bağ topraklarında karbon girdisi ve mikrobiyal biyokütle açısından destekleyici bir rol üstlenebilir (Xu & Geelen, 2018; Christou vd., 2023). Toprak sağlığını hedefleyen biyostimulant uygulamalarında kısa dönemli verim artışından çok, kök çevresindeki biyolojik süreçlerin düzenli biçimde izlenmesi önemlidir. Organik madde, mikrobiyal biyokütle, enzim aktiviteleri, agregat stabilitesi ve besin yarıyışlılığı gibi göstergeler, bu uygulamaların bağ toprağı üzerindeki etkisini daha sağlıklı değerlendirmeye yardımcı olabilir.

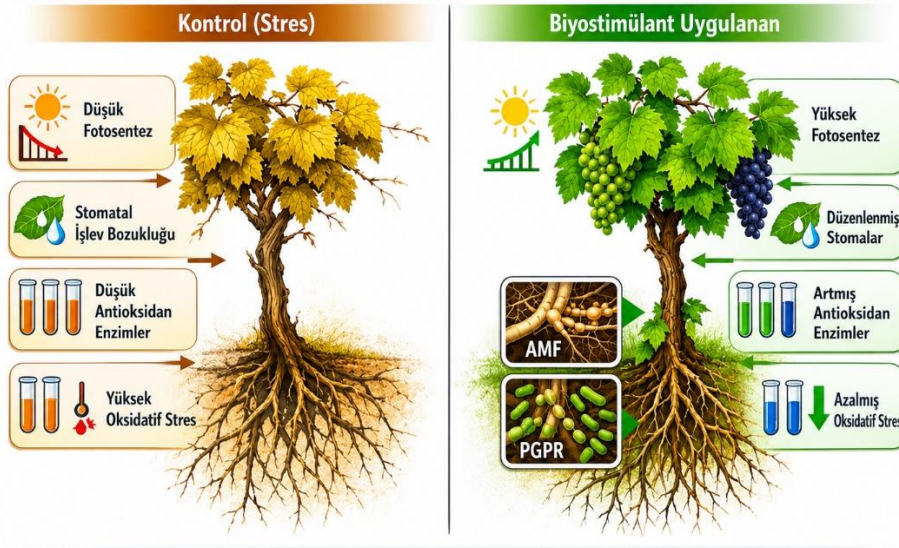
3. Bağcılıkta Biyostimulant Uygulamalarının Hedefleri ve Bulguların Değerlendirilmesi

Bağcılıkta biyostimulant uygulamaları çoğunlukla verim, kalite, stres toleransı, hastalık baskısının azaltılması ve toprak sağlığının desteklenmesi gibi hedefler etrafında şekillenmektedir. Ancak bu hedefler birbirinden tamamen bağımsız değildir. Örneğin su stresi altında fotosentetik aktivitenin korunması, yalnızca bitki gelişimini değil, aynı zamanda tane iriliğı, şeker birikimi ve fenolik bileşik oluşumunu da etkileyebilir. Bu nedenle biyostimulant etkilerinin tek bir parametre üzerinden değil, bitki-toprak sistemi içindeki karşılıklı ilişkiler dikkate alınarak değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir. Bu bölümde, bağcılıkta biyostimulant kullanımına ilişkin bulgular dört ana uygulama hedefi altında ele alınmıştır. Çizelge 2’de farklı biyostimulant gruplarının verim, kalite, abiyotik stres, biyotik stres ve toprak sağlığıyla ilişkili bildirilen etkileri özetlenmiştir. Görsel 2 ise özellikle stres koşullarında biyostimulant uygulanan ve uygulanmayan asmalarda beklenen fizyolojik farklılıkları görsel olarak sunmaktadır. Görsel 2, stres koşullarında biyostimulant uygulanan ve uygulanmayan asmalar arasında beklenen fizyolojik farklılıkları özetlemektedir. Bu görsel, fotosentez, stoma iletkenliğı, antioksidan savunma ve oksidatif hasar gibi göstergelerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Çizelge 2. Biyostimulantların bağcılıkta hedef bazlı etkileri

Hedef	Biyostimulant Türü	Gözlenen Etkiler	Örnek Çalışmalar
Verim ve Kalite	Deniz yosunu ekstraktları	Bazı çalışmalarda verim, SÇKM ve antosiyanin göstergeleriyle ilişkili olumlu sonuçlar	Doğan & Yazar, 2025; Frioni vd., 2018; Topuz vd., 2023
	Hümk/fulvik asitler	SÇKM, olgunlaşma süreci ve salkım özellikleriyle ilişkili destekleyici sonuçlar	Ahmed, 2023; El-Salhy vd., 2023
	Amino asitler	Verim, salkım ağırlığı, antosiyanin ve askorbik asit gibi kalite göstergeleriyle ilişkili etkiler	Hallaç Türk & Kurt, 2025; Abada, 2023; Rashid & Al-Atrushy, 2023
	Mikrobiyal biyostimulantlar	Antioksidan kapasite ve kalite bileşenlerine dolaylı katkı sağlayabilir	Castiglione vd., 2021
Abiyotik Stres	AMF	Su kullanım etkinliği ve fotosentetik aktivitenin sürdürülmesiyle ilişkili etkiler	Irani vd., 2021
	PGPR	Klorofil floresansı ve antioksidan savunma göstergeleriyle ilişkili destekleyici sonuçlar	Papantzikos vd., 2024; Duan vd., 2021
	Deniz yosunu ekstraktları	ABA sinyalleme, prolin birikimi ve oksidatif hasar göstergeleriyle ilişkili değişimler	Zarraonaindia vd., 2023; Frioni vd., 2021
	Melatonin + Silisyum	Gaz değişim parametreleri, hormonal yanıtlar ve oksidatif stresle ilişkili destekleyici etkiler	Pereira vd., 2025; Arnao & Hernández-Ruiz, 2019; Coskun vd., 2019
Biyotik Stres	Nano-CeO ₂	Kuraklık koşullarında oksidatif hasar ve stres genleriyle ilişkili değişimler	Daler, 2024
	Elisitörler (inaktif maya, kitosan)	Bazı çalışmalarda mildiyöye karşı savunma yanıtları ve fenolik metabolizmayla ilişkili sonuçlar	Puccioni vd., 2025; Brulé vd., 2024; De Miccolis Angelini vd., 2019
	Mikrobiyal konsorsiyumlar	Külleme, mildiyö ve salkım çürüklüğüyle ilişkili hastalık göstergelerinde azalma bildirilmiştir	Hajji-Hedfi vd., 2025; Darriaut vd., 2025
Toprak Sağlığı	AMF	Glomalin, agregat stabilitesi ve mikrobiyal çeşitlilikle ilişkili etkiler	Jindo vd., 2022; Wang vd., 2023
	PGPR	Organik madde ayrışması, besin döngüsü ve biyokontrol süreçleriyle ilişkili etkiler	Hakim vd., 2021
	Hümk maddeler	Katyon değişim kapasitesi ve mikrobiyal karbon kaynağı etkileri	Canellas vd., 2015; Yuan vd., 2022
	Organik kaynaklı ürünler	Organik karbon girdisi ve mikrobiyal biyokütleyle ilişkili destekleyici etkiler	Xu & Geelen, 2018

Abiyotik Stres Altında Biyostimülanların Asma Fizyolojisine Etkileri



Görsel 2. Biyostimülanların stres koşullarında asma fizyolojisiyle ilişkili olası etkileri

Biyostimülan uygulamaları stres koşullarında fotosentetik aktivitenin sürdürülmesi, antioksidan savunmanın desteklenmesi ve oksidatif hasarın sınırlandırılmasıyla ilişkilendirilebilir. Görselde kontrol bitkisi ile biyostimülan uygulanmış bitki arasındaki olası fizyolojik farklılıklar karşılaştırılmıştır.

3.1. Verim ve Ürün Kalitesine Yönelik Uygulamalar

Biyostimülanların bağcılıkta en sık değerlendirilen etkilerinden biri verim ve ürün kalitesiyle ilişkilidir. Bu kapsamda deniz yosunu ekstraktları, hümit ve fulvik asitler, amino asitler, protein hidrolizatları ve bazı mikrobiyal biyostimülanlar öne çıkmaktadır. Bu ürünlerin etkisi; salkım ağırlığı, tane büyüklüğü, SÇKM, asitlik, antosiyanin, fenolik madde ve antioksidan kapasite gibi parametreler üzerinden değerlendirilmektedir.

Deniz yosunu ekstraktları, özellikle *Ascophyllum nodosum* kaynaklı ürünler, bağcılıkta kalite ve olgunlaşma üzerine yapılan çalışmalarda sık yer almaktadır. Frioni vd. (2018), deniz yosunu ekstraktlarının üzüm olgunlaşması ve bazı kalite özellikleriyle ilişkili etkiler gösterebildiğini bildirmiştir. Doğan ve Yazar (2025), Alphonse Lavallée üzüm çeşidinde farklı deniz yosunu ekstraktlarının fizyolojik performans ve kalite parametreleriyle ilişkili olumlu sonuçlar verebildiğini rapor etmiştir. Bu bulgular, Çizelge 2’de verim ve kalite başlığı altında verilen değerlendirmeye uyumludur.

Hümit ve fulvik asitler, üzümde kalite oluşumuna çoğunlukla besin alımı ve kök gelişimi üzerinden dolaylı katkı sağlayabilir. Ahmed (2023), Superior Seedless çeşidinde hümit asit uygulamalarının SÇKM değerleri ve olgunlaşma süreciyle ilişkili sonuçlar verdiğini belirtmiştir. El-Salhy vd. (2023) ise hümit ve fulvik asitlerin mineral azot dozunun azaltıldığı koşullarda dahi verim ve salkım özelliklerini destekleyebileceğini bildirmiştir. Bu durum, hümit maddelerin yalnızca kalite değil, aynı zamanda düşük girdi hedeflenen üretim sistemleri açısından da değerlendirilebileceğini düşündürmektedir.

Amino asit ve protein hidrolizatı temelli biyostimulantlar, sekonder metabolizma ile ilişkili olmaları nedeniyle özellikle renk, fenolik madde ve antioksidan kapasite başlıklarında önem taşımaktadır. Hallaç Türk ve Kurt (2025), Öküzgözü üzüm çeşidinde amino asit ve hümik asit uygulamalarının verim, salkım ağırlığı, antosiyanin ve askorbik asit gibi bazı kalite özellikleriyle ilişkili olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde farklı üzüm çeşitlerinde amino asit uygulamalarının verim ve kalite parametrelerine katkı sağlayabildiği rapor edilmiştir (Abada, 2023; Rashid & Al-Atrushy, 2023).

Mikrobiyal biyostimulantların verim ve kalite üzerindeki etkileri daha çok dolaylı yollarla açıklanmaktadır. AMF ve PGPR uygulamaları, kök gelişimi, besin alımı ve stres yanıtlarını destekleyerek tane gelişimi ve kalite bileşenlerinde değişimlere yol açabilir. Castiglione vd. (2021), mikrobiyal biyostimulantların üzümde bazı kalite özellikleri ve antioksidan kapasiteyle ilişkili olabileceğini belirtmiştir. Bu tür etkilerin daha sağlıklı yorumlanabilmesi için verim parametreleriyle birlikte yaprak besin durumu, su ilişkileri ve stres göstergelerinin de değerlendirilmesi yararlı olacaktır.

Verim ve kaliteyi hedefleyen uygulamalarda fenolojik dönem dikkatle seçilmelidir. Çiçeklenme sonrası, tane tutumu, tane büyümesi, bendüşme ve olgunlaşma dönemleri biyostimulant etkisinin farklı şekillerde ortaya çıkabileceği aşamalardır. Bu nedenle uygulama başarısı yalnızca ürün içeriğine değil, aynı zamanda bağın gelişim dönemi, çeşit özellikleri ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebilir.

3.2. Kuraklık, Sıcaklık ve Tuzluluk Stresine Yönelik Uygulamalar

Kuraklık, yüksek sıcaklık ve tuzluluk, bağcılıkta bitki su ilişkilerini, fotosentez kapasitesini ve tane gelişimini etkileyen başlıca stres faktörleri arasında yer almaktadır. Bu koşullar altında stomaların kapanması, yaprak su potansiyelinin düşmesi, klorofil içeriğinin azalması ve oksidatif stres göstergelerinin artması, asmanın gelişimini sınırlayabilir (Monteiro vd., 2022; Irani vd., 2021). Bu nedenle biyostimulant uygulamaları, stresin etkilerini tamamen ortadan kaldırması beklenen çözümler olarak değil, bitkinin stres koşullarına verdiği fizyolojik yanıtları destekleyebilecek yardımcı uygulamalar olarak değerlendirilmelidir.

Kuraklık stresine yönelik çalışmalarda AMF, PGPR ve deniz yosunu ekstraktları daha sık öne çıkmaktadır. AMF uygulamaları, kök-hif ağı aracılığıyla su ve besin alımını destekleyebilir; bu durum kuraklık koşullarında yaprak su durumunun korunmasına ve fotosentetik aktivitenin daha dengeli sürdürülmesine katkı sağlayabilir (Smith & Read, 2008; Roupael vd., 2015; Irani vd., 2021). PGPR'ler ise ACC deaminaz aktivitesi, kök gelişimini destekleme ve antioksidan savunma sistemleriyle ilişkili etkileri nedeniyle su kısıtı altında incelenmektedir (Backer vd., 2018; Duan vd., 2021). Papantzikos vd. (2024), rizobakteri temelli uygulamaların su kısıtı altında asmanın bazı fizyolojik göstergeleri üzerinde destekleyici etkiler oluşturabileceğini bildirmiştir.

Deniz yosunu ekstraktları, özellikle kuraklık ve sıcaklık streslerinde bitkinin su dengesini ve antioksidan savunmasını destekleyebilecek ürünler arasında değerlendirilmektedir. *Ascophyllum nodosum* kaynaklı ekstraktlarda bulunan betainler, mannitol, polisakkaritler ve fenolik bileşikler; ozmotik denge, fotosentetik pigmentlerin korunması ve stres sonrası toparlanma süreçleriyle ilişkilendirilmektedir (Frioni vd., 2018; Frioni vd., 2021).

Zarraonaindia vd. (2023), deniz yosunu ekstraktlarına verilen yanıtın fizyolojik, biyokimyasal ve rizosfer düzeyindeki değişimlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Sıcaklık stresi ve yaz dönemindeki yüksek radyasyon koşullarında silisyum, kaolin ve melatonin gibi uygulamalar da dikkat çekmektedir. Silisyumun bitki dokularında yapısal dayanıklılığı destekleyebileceği, melatoninin ise oksidatif stres yanıtlarında rol oynayabileceği bildirilmektedir (Arnao & Hernández-Ruiz, 2019; Coskun vd., 2019). Pereira vd. (2025), kaolin ve silisyum uygulamalarının yaz stresi altında asma su ilişkileri ve gaz değişim parametreleriyle ilişkili olumlu sonuçlar verebildiğini rapor etmiştir. Bu bulgular, Çizelge 2’de abiyotik stres başlığı altında verilen değerlendirmeye uyumludur.

Tuzluluk stresinde biyostimulantların etkisi daha çok iyon dengesi, ozmotik düzenleme ve antioksidan savunma üzerinden açıklanmaktadır. PGPR, AMF, amino asitler ve bazı organik kökenli biyostimulantlar bu süreçlerde destekleyici rol oynayabilir (Backer vd., 2018; Ingrisano vd., 2023). Ancak tuzluluk koşullarında elde edilen sonuçların toprak tipi, sulama suyu kalitesi, anaç duyarlılığı ve uygulama yöntemiyle yakından ilişkili olduğu dikkate alınmalıdır. Bu nedenle tuzluluk yönetiminde biyostimulant uygulamaları, sulama yönetimi ve toprak tuzluluğunun izlenmesiyle birlikte değerlendirilmelidir.

Nano-CeO₂ gibi nanoteknoloji temelli uygulamalar da kuraklık ve oksidatif stres yönetimi açısından araştırılmaktadır. Daler (2024), Superior Seedless üzüm çeşidinde nano-CeO₂ uygulamalarının kuraklık stresi altında bazı oksidatif hasar göstergeleriyle ilişkili değişimler oluşturabileceğini bildirmiştir. Bununla birlikte nanoteknoloji temelli ürünlerde doz, uygulama şekli, çevresel güvenlik ve toprak mikrobiyomu üzerindeki olası etkiler daha dikkatli ele alınmalıdır (Kumari vd., 2023; Mgadi vd., 2024).

Stres altındaki kontrol bitkisi ile biyostimulant uygulanmış bitki arasındaki fizyolojik farklılıklar görsel olarak sunulmaktadır (Görsel 2). Bu karşılaştırma, biyostimulantların stres koşullarında fotosentez, stoma iletkenliği, antioksidan savunma ve oksidatif hasar gibi parametrelerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini gösterebilir. Bu nedenle abiyotik stres çalışmalarında yalnızca verim veya kalite verileri değil, fizyolojik ve biyokimyasal göstergeler de birlikte izlenmelidir.

3.3. Biyotik Stres ve Hastalık Baskısına Yönelik Uygulamalar

Bağcılıkta külleme, mildiyö ve salkım çürüklüğü gibi fungal hastalıklar, verim ve kalite üzerinde önemli kayıplara yol açabilmektedir. İklim koşullarındaki dalgalanmalar, yaprak ıslaklık süresi, sıcaklık ve nem değişimleri hastalık gelişimini etkileyebildiği için, biyotik stres yönetimi bağcılıkta sürdürülebilir üretimin önemli başlıklarından biri hâline gelmiştir. Bu noktada biyostimulantlar, kimyasal fungisitlerin doğrudan yerine geçecek ürünler olarak değil, bitkinin savunma yanıtlarını destekleyebilecek tamamlayıcı uygulamalar olarak değerlendirilmelidir (Cataldo vd., 2022; Jindo vd., 2022).

Biyotik stres yönetiminde özellikle elisitörler ve mikrobiyal konsorsiyumlar öne çıkmaktadır. İnaktif maya preparatları, kitosan türevleri ve bazı doğal polimerler, bitkide savunma sinyallerini uyarmaları nedeniyle bu kapsamda incelenmektedir. De Miccolis Angelini vd. (2019), cerevisane uygulamasının asmada savunma genleri ve bazı sinyal yolları ile ilişkili yanıtlar oluşturabildiğini bildirmiştir. Brulé vd. (2024) ise kitosan türevlerinin asma savunma

mekanizmaları üzerinde etkili olabileceğini belirtmiştir. Maya bazlı biyostimulantlar, özellikle mildiyöye karşı bitki savunmasının desteklenmesi bakımından dikkat çekmektedir. Puccioni vd. (2025), Cabernet Sauvignon çeşidinde bazı maya temelli uygulamaların Plasmopara viticola enfeksiyonuna karşı koruyucu etki gösterebildiğini ve fenolik metabolizma ile ilişkili değişimler oluşturduğunu bildirmiştir. Bu bulgular, Çizelge 2’de biyotik stres başlığı altında verilen elisitör etkileriyle uyumludur. Mikrobiyal konsorsiyumlar da bağ hastalıklarının yönetiminde araştırılan uygulamalar arasındadır. Farklı bakteri ve fungus türlerinin birlikte kullanılması, rizosferde rekabet, antagonizm, savunma enzimlerinin uyarılması ve bitki gelişiminin desteklenmesi gibi birden fazla mekanizmayı aynı anda etkileyebilir. Hajji-Hedfi vd. (2025), mikrobiyal konsorsiyum ve kompost uygulamalarının külleme, mildiyö ve salkım çürüklüğü gibi hastalıklarla ilişkili bazı göstergeler üzerinde olumlu sonuçlar verebildiğini bildirmiştir. Darriaut vd. (2025) de bağ kökenli rizobakteriler ve AMF uygulamalarının kök mikrobiyomu üzerinde değişimler oluşturabileceğini bildirmiştir.

Bu çalışmalar, biyostimulantların biyotik stres yönetiminde doğrudan hastalık baskılayıcı ürünler olarak değil, bitki savunmasını ve rizosfer dengesini destekleyebilecek uygulamalar olarak ele alınmasının daha doğru olacağını gösterebilir. Bu nedenle biyotik stres başlığında biyostimulantların etkinliği; hastalık şiddeti, savunma enzimleri, fenolik bileşikler, mikrobiyal topluluk yapısı ve çevresel koşullar birlikte değerlendirilerek yorumlanmalıdır.

3.4. Toprak Sağlığı ve Mikrobiyom Yönetimine Yönelik Uygulamalar

Bağcılıkta toprak sağlığı, uzun dönemli üretim devamlılığı açısından önemli bir bileşendir. Toprak organik maddesi, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi, mikrobiyal çeşitlilik ve besin döngüsü gibi göstergeler, asmanın kök gelişimi ve beslenme durumunu doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle biyostimulant uygulamaları, yalnızca bitki üzerinde oluşturdukları kısa dönemli etkilerle değil, kök çevresindeki biyolojik süreçlere olası katkılarıyla da değerlendirilmelidir (Jindo vd., 2022; Roche vd., 2024).

AMF uygulamaları, toprak sağlığı başlığında en sık ele alınan biyostimulant gruplarından biridir. AMF hifleri, kök bölgesinde su ve besin hareketini desteklerken, glomalin üretimi yoluyla agregat stabilitesiyle ilişkili süreçlere katkı sağlayabilir (Smith & Read, 2008; Wang vd., 2023). Bu etki, özellikle düşük organik maddeye sahip veya fiziksel yapısı zayıflamış bağ topraklarında daha anlamlı olabilir. Çizelge 2’de de AMF uygulamaları, toprak sağlığı ve mikrobiyal aktiviteyle ilişkili biyostimulant grupları arasında değerlendirilmiştir.

PGPR ve mikrobiyal konsorsiyumlar, rizosferde besin döngüsü, organik madde ayrışması, fosfat çözünürlüğü ve bazı biyokontrol süreçleriyle ilişkilendirilmektedir. Bu mikroorganizmalar, kök çevresindeki biyolojik aktiviteyi destekleyerek bitki gelişimine dolaylı katkı sağlayabilir (Backer vd., 2018; Hakim vd., 2021). Darriaut vd. (2025), bağ kökenli rizobakteriler ve AMF uygulamalarının kök mikrobiyomu üzerinde değişimler oluşturabileceğini bildirmiştir. Bu tür bulgular, biyostimulant çalışmalarında yalnızca bitki verilerinin değil, rizosfer mikrobiyomunun da izlenmesinin yararlı olabileceğini gösterebilir.

Hümk ve fulvik asitler, toprakta besin tutunumu, katyon değişim kapasitesi ve mikro element yarıyışlılığıyla ilişkili etkileri nedeniyle toprak sağlığı kapsamında değerlendirilebilir. Bu ürünler, özellikle organik madde düzeyi düşük topraklarda kök çevresindeki kimyasal ve

biyolojik koşulları destekleyebilir (Canellas vd., 2015; Yuan vd., 2022). Organik kaynaklı biyostimulantlar ve bağcılık/şarapçılık atıklarından geliştirilen ürünler ise döngüsel ekonomi yaklaşımı içinde ayrıca önem taşımaktadır (Xu & Geelen, 2018; Christou vd., 2023).

Toprak sağlığını hedefleyen uygulamalarda etkinin kısa sürede ve yalnızca verim üzerinden değerlendirilmesi yeterli olmayabilir. Organik madde, mikrobiyal biyokütle, enzim aktiviteleri, agregat stabilitesi, kök gelişimi ve besin yararı gibi göstergeler birlikte izlendiğinde, biyostimulantların bağ toprağı üzerindeki etkileri daha dengeli biçimde yorumlanabilir.

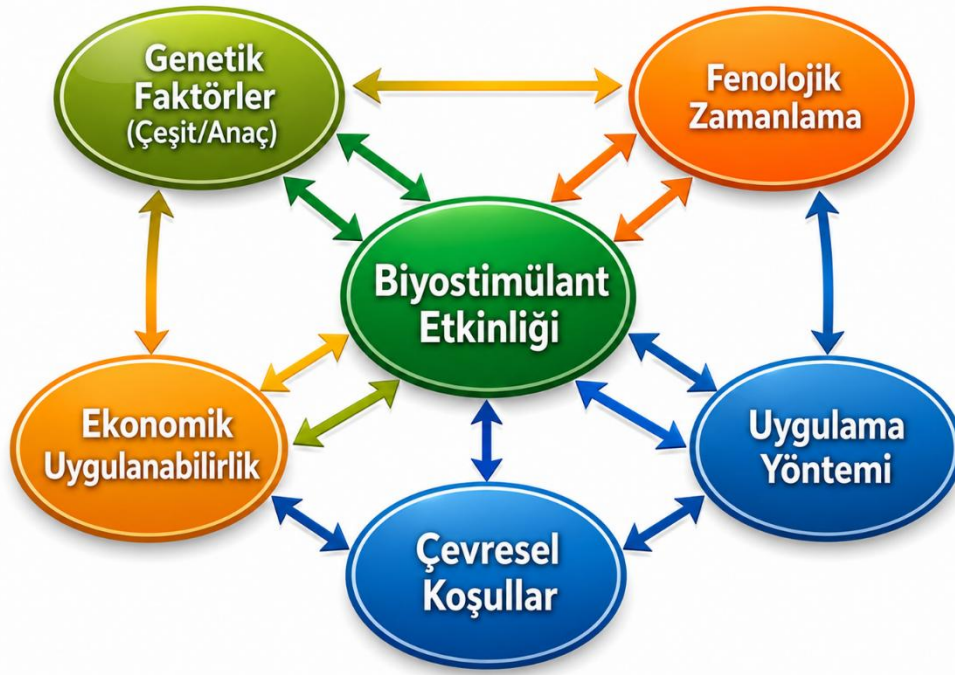
4. Biyostimulant Etkinliğini Belirleyen Faktörler

Biyostimulant uygulamalarında elde edilen sonuçlar, yalnızca kullanılan ürünün içeriğiyle açıklanamaz. Aynı ürün farklı bağlarda, farklı çeşitlerde veya farklı uygulama dönemlerinde değişken sonuçlar verebilir. Bu nedenle biyostimulantların etkisi; çeşit/anaç yapısı, fenolojik dönem, uygulama yöntemi, çevresel koşullar ve ekonomik uygulanabilirlik gibi faktörlerle birlikte değerlendirilmelidir (Franzoni vd., 2022; Jindo vd., 2022; Olavarrieta vd., 2022). Bu bölümde, biyostimulant etkinliğini etkileyebilecek başlıca faktörler ele alınmıştır. Çizelge 3'te bu faktörler, alt bileşenleri ve yönetim açısından dikkate alınabilecek yönleriyle özetlenmiştir. Görsel 3 ise genetik yapı, uygulama zamanı, çevresel koşullar ve ekonomik değerlendirme arasındaki ilişkiyi görsel olarak gösterebilir. Bu çerçevede, biyostimulant kullanımında tek tip uygulama yerine bağın koşullarına göre planlama yapılmasının daha uygun olabileceğini gösterebilir. biyostimulantların bağcılıktaki etkinliğini etkileyebilecek beş ana faktörün (genetik, fenolojik zamanlama, uygulama yöntemi, çevresel koşullar ve ekonomik uygulanabilirlik) birbiriyle ilişkisini özetlemektedir. Bu çerçevede, uygulama kararlarının tek bir değişkene göre değil, bağın mevcut koşulları dikkate alınarak verilmesinin daha uygun olabileceğini gösterebilir.

Çizelge 3. Biyostimulant etkinliğini belirleyen faktörler ve yönetim stratejileri

Faktör	Alt Bileşenler	Etki Mekanizması	Optimal Strateji	Örnek Çalışmalar
Genetik Faktör	Çeşit, anaç	Kök mimarisi, kök salgıları, mikrobiyal ilişkiler ve metabolik profil farklılıkları	Çeşit/anaç kombinasyonuna uygun yerel denemelerle doz ve zamanlama belirlenmesi	Bianchi vd., 2023; Küskü vd., 2025; Gentileco vd., 2025; Ganugi vd., 2023; Corso vd., 2015
Fenolojik Zamanlama	Tomurcuklanma, çiçeklenme, tane tutumu, bendüşme, olgunlaşma	Bitkinin fizyolojik gereksinimleri ve uygulamaya duyarlılığı döneme göre değişebilir	Mikrobiyal ürünlerde erken dönem; deniz yosunu ve amino asitlerde hedeflenen kalite/stres dönemine göre uygulama	Andreotti vd., 2022; Frioni vd., 2018; Bavaresco vd., 2020; Peli vd., 2024; Ahmed, 2023
Uygulama Yöntemi	Yapraktan, topraktan, damla sulama, kök bölgesi veya kontrollü salım	Aktif bileşenin bitkiye veya rizosfere ulaşım yolu ve süresi değişebilir	Yapraktan uygulamalarda hızlı fizyolojik yanıt; toprak uygulamalarında kök-rizosfer süreçlerinin desteklenmesi	Li vd., 2022; Frioni vd., 2021; Backer vd., 2018; Daler, 2024; Mendes vd., 2023
Çevresel Koşullar	Toprak pH'sı, organik madde, su durumu, tuzluluk, sıcaklık, nem ve yönetim geçmişi	Mikrobiyal aktivite, bitki alımı ve ürün stabilitesi çevre koşullarına bağlı olarak değişebilir	Toprak analizi, stres izleme, uygun uygulama zamanı ve yerel koşullara göre planlama	Jindo vd., 2022; Cataldo vd., 2022; Irani vd., 2021; Yuan vd., 2022; Roche vd., 2024
Ekonomik Uygulanabilirlik	Maliyet, beklenen getiri, üretici kabulü, pazar koşulları	Verim, kalite primi ve girdi tasarrufu birlikte değerlendirilmelidir	Küçük ölçekli demonstrasyon, maliyet-fayda analizi ve üreticiye yönelik yayım çalışmaları	Li vd., 2022; Mendes vd., 2023; Buss vd., 2025

Biyostimulantların bağcılıktaki etkinliğini etkileyebilecek beş ana faktörün (genetik, fenolojik zamanlama, uygulama yöntemi, çevresel koşullar ve ekonomik uygulanabilirlik) birbiriyle ilişkisini özetlemektedir. Bu çerçeve, uygulama kararlarının tek bir değişkene göre değil, bağın mevcut koşulları dikkate alınarak verilmesinin daha uygun olabileceğini gösterebilir (Görsel 3).



Görsel 3. Biyostimulant etkinliğini belirleyen faktörlerin etkileşimi

4.1. Genetik Faktör: Çeşit ve Anaç Etkisi

Asmada biyostimulantlara verilen yanıt, çeşit ve anaç özelliklerine göre değişebilir. Kök mimarisi, kök salgıları, su alma kapasitesi, besin kullanım davranışı ve mikrobiyal kolonizasyona açıklık gibi özellikler, biyostimulant etkisinin ortaya çıkmasında rol oynayabilir. Bu nedenle aynı biyostimulant uygulaması, farklı üzüm çeşitlerinde veya farklı anaç kombinasyonlarında benzer sonuçlar vermeyebilir (Corso vd., 2015; Bianchi vd., 2023).

Anaclar özellikle kuraklık, tuzluluk ve besin alımıyla ilişkili yanıtların şekillenmesinde önemlidir. Kök derinliği, hidrolik iletkenlik ve hormon dengesi gibi özellikler, stres koşullarında asmanın fizyolojik tepkisini etkileyebilir. Labarga vd. (2023), anacların su ilişkileri ve hormonal yanıtlar üzerinde farklı etkiler gösterebildiğini bildirirken; Prinsi vd. (2018), anaclar arasındaki metabolik ve proteomik farklılıkların stres yanıtlarını etkileyebileceğini belirtmiştir. Biyostimulant uygulamalarında çeşit özelliği de göz ardı edilmemelidir. Sofralık ve şaraplık üzüm çeşitlerinde hedef kalite parametreleri farklı olabildiği için, uygulama başarısı da farklı ölçütlerle değerlendirilmelidir. Örneğin sofralık üzümlerde tane iriliği, salkım yapısı ve hasat sonrası dayanım daha öne çıkarken; şaraplık üzümlerde

fenolik bileşikler, antosiyaninler ve asit-şeker dengesi daha belirleyici olabilir. Gentileseco vd. (2025) ve Ganugi vd. (2023), biyostimulant uygulamalarının çeşit ve kalite özellikleriyle ilişkili olarak farklı sonuçlar verebildiğini gösterebilir.

Yerel çeşitler açısından da bu durum önem taşımaktadır. Küskü vd. (2025), Öküzgözü çeşidinde anaç ve biyostimulant uygulamalarının stres koşullarındaki tepkilerle ilişkili olabileceğini bildirmiştir. Bu tür çalışmalar, biyostimulant protokollerinin yalnızca ürün etiketine göre değil, çeşit/anaç kombinasyonu ve yerel yetiştirme koşulları dikkate alınarak oluşturulmasının daha uygun olabileceğini düşündürmektedir.

4.2. Fenolojik Dönem ve Uygulama Zamanı

Biyostimulant uygulamalarında zamanlama, ürünün etkisini belirleyen önemli faktörlerden biridir. Asmada çiçeklenme öncesi, tane tutumu, tane büyümesi, bendüşme ve olgunlaşma dönemleri fizyolojik açıdan farklı süreçleri temsil eder. Bu nedenle aynı biyostimulantın erken dönemde kök gelişimi veya vegetatif gelişme üzerinde, olgunlaşmaya yakın dönemde ise kalite parametreleri üzerinde daha belirgin sonuçlar verebildiği bildirilmektedir (Frioni vd., 2018; Andreotti vd., 2022). Çiçeklenme ve tane tutumu dönemlerinde yapılan uygulamalar, daha çok salkım oluşumu, tane bağlama ve erken dönem gelişim süreçleriyle ilişkilendirilebilir. Tane büyümesi döneminde uygulanan biyostimulantlar ise su dengesi, hücre genişlemesi ve besin taşınımı üzerinde destekleyici etkiler oluşturabilir. Bendüşme ve olgunlaşma dönemleri ise SÇKM, antosiyanin, fenolik bileşikler ve aroma bileşenleri gibi kalite parametreleri açısından daha kritik kabul edilmektedir (Frioni vd., 2018; Peli vd., 2024). Deniz yosunu ekstraktları, amino asitler ve protein hidrolizatları özellikle kalite oluşumunun hızlandığı dönemlerde daha fazla incelenmektedir. Buna karşılık AMF ve PGPR gibi mikrobiyal biyostimulantların etkisi çoğu zaman daha erken dönemde kök-rizosfer ilişkilerinin kurulmasına bağlıdır. Bu nedenle mikrobiyal uygulamalarda yalnızca uygulama tarihi değil, kolonizasyonun gerçekleşmesi için gereken süre de dikkate alınmalıdır (Rouphael vd., 2015; Backer vd., 2018; Ganugi vd., 2023). Biyostimulant uygulamalarında fenolojik dönem ürün seçimiyle birlikte değerlendirilmelidir. Hedef verim ise çiçeklenme ve tane tutumu dönemleri; hedef renklenme veya fenolik olgunluk ise bendüşme ve olgunlaşma dönemleri daha uygun olabilir. Ancak bu planlama, çeşit özelliği, iklim koşulları ve bağın su durumu dikkate alınmadan tek başına yeterli görülmemelidir (Çizelge 3).

4.3. Uygulama Yöntemi ve Doz

Biyostimulant uygulamalarında yöntem ve doz, elde edilen yanıtın şekillenmesinde önemli rol oynar. Aynı ürünün yaprakтан, topraktan, damlama sulama sistemiyle veya kök bölgesine uygulanması farklı sonuçlar oluşturabilir. Bu farklılık, ürünün bitki dokularına ulaşma yolu, kök-rizosfer etkileşimi ve çevresel koşullarla ilişkilidir (Rouphael & Colla, 2020; Franzoni vd., 2022). Yapraktan uygulamalar, özellikle deniz yosunu ekstraktları, amino asitler, protein hidrolizatları, silisyum ve bazı elisitörler için tercih edilmektedir. Bu yöntem, hızlı fizyolojik yanıt beklenen dönemlerde avantaj sağlayabilir. Ancak yaprak yüzeyinin durumu, hava sıcaklığı, nem, rüzgâr ve uygulama zamanı etkinliği değiştirebilir. Özellikle sıcak ve kuru koşullarda yapılan uygulamalarda yaprak yanıklığı veya düşük alım riski dikkate alınmalıdır.

Toprak veya damlama sulama yoluyla yapılan uygulamalar ise daha çok AMF, PGPR, hümik ve fulvik asitler gibi kök-rizosfer ilişkili ürünlerde öne çıkmaktadır. Mikrobiyal biyostimulantlarda uygulamanın başarılı olabilmesi için mikroorganizmanın kök bölgesinde tutunması, çoğalması ve bitkiyle etkileşime girebilmesi gerekir. Bu nedenle toprak nemi, organik madde düzeyi, pH ve daha önce kullanılan pestisit veya gübre uygulamaları mikrobiyal etkinliği etkileyebilir (Backer vd., 2018; Jindo vd., 2022). Doz konusu da dikkatli ele alınmalıdır. Biyostimulantlarda yüksek doz her zaman daha iyi sonuç anlamına gelmez. Bazı ürünlerde düşük veya orta dozlar yeterli yanıt oluşturabilirken, yüksek dozlar bitkide fizyolojik dengesizlik, yaprak zararı veya ekonomik kayıp oluşturabilir. Bu nedenle uygulama dozu, ürün etiketi, deneme sonuçları, bağın gelişim durumu ve hedeflenen etki dikkate alınarak belirlenmelidir (Li vd., 2022; Mendes vd., 2023). Uygulama yöntemi ve doz ürün tipinden bağımsız düşünülmemelidir. Kök bölgesini hedefleyen ürünlerde toprak koşulları, yaprak uygulamalarında ise iklim ve fenolojik dönem daha belirleyici olabilir. Bu nedenle biyostimulant uygulamaları, bağın mevcut durumu izlenerek ve aynı sezon içindeki gözlemlerle desteklenerek planlanmalıdır (Çizelge 3).

4.4. Çevresel Koşullar ve Bağ Yönetimi

Biyostimulant uygulamalarının etkisi, bağın bulunduğu çevresel koşullardan ayrı düşünülemez. Sıcaklık, yağış, toprak nemi, sulama suyu kalitesi, toprak pH'sı, organik madde düzeyi ve tuzluluk gibi faktörler, ürünün bitki veya rizosfer üzerindeki etkisini değiştirebilir. Bu nedenle aynı biyostimulant uygulaması, farklı ekolojik koşullarda farklı sonuçlar verebilir (Jindo vd., 2022; Cataldo vd., 2022). Kurak ve yarı kurak bağ alanlarında biyostimulantlardan beklenen yanıt çoğu zaman su dengesi, kök gelişimi ve stres toleransı ile ilişkilidir. Buna karşılık organik madde düzeyi düşük topraklarda hümik maddeler, AMF ve PGPR gibi kök-rizosfer odaklı uygulamalar daha fazla önem kazanabilir. Tuzluluk problemi bulunan alanlarda ise biyostimulant uygulamaları, sulama yönetimi ve toprak tuzluluğunun düzenli izlenmesiyle birlikte değerlendirilmelidir (Backer vd., 2018; Irani vd., 2021; Yuan vd., 2022). Bağ yönetimi de sonuçları etkileyen bir başka faktördür. Sulama programı, gübreleme düzeyi, toprak işleme, örtü bitkisi kullanımı, budama şiddeti ve hastalık yönetimi gibi uygulamalar, biyostimulantların etkisini destekleyebilir veya sınırlayabilir. Özellikle mikrobiyal biyostimulantlarda toprak nemi, pestisit geçmişi ve organik madde durumu, mikroorganizmanın kök bölgesinde tutunması açısından dikkate alınmalıdır (Rouphael vd., 2015; Jindo vd., 2022). Çevresel koşulların ve bağ yönetimi uygulamalarının biyostimulant etkinliğiyle ilişkili yönleri özetlenmiştir. Görsel 3'te ise ürün, bitki, çevre ve uygulama zamanı arasındaki ilişki görsel olarak verilmiştir. Bu çerçevede biyostimulant kullanımı, bağın mevcut sorunları belirlenmeden standart bir uygulama takvimi şeklinde planlanmamalıdır. Her bağ alanı için hedef, ürün seçimi ve uygulama zamanı birlikte değerlendirilmelidir (Çizelge 3).

4.5. Ekonomik Uygulanabilirlik ve Üretici Kabulü

Biyostimulant kullanımında yalnızca biyolojik etki değil, uygulamanın ekonomik karşılığı da dikkate alınmalıdır. Bir ürünün verim, kalite veya stres toleransı üzerinde olumlu etkiler göstermesi, her koşulda üretici açısından uygulanabilir olduğu anlamına gelmez. Ürün maliyeti,

uygulama sayısı, işçilik, ekipman gereksinimi ve beklenen gelir artışı birlikte değerlendirilmelidir (Li vd., 2022; Mendes vd., 2023). Bağcılıkta ekonomik değerlendirme, hedeflenen üretim tipine göre değişebilir. Sofralık üzümde tane iriliği, salkım görünümü, raf ömrü ve pazar değeri daha belirleyici olabilirken; şaraplık üzümlerde fenolik olgunluk, asit-şeker dengesi ve aroma bileşenleri daha fazla önem taşıyabilir. Bu nedenle biyostimulant uygulamasından beklenen yarar, yalnızca toplam verim artışı üzerinden değil, ürünün pazarlanabilir kaliteye katkısı üzerinden de ele alınmalıdır.

Üretici kabulü açısından ürünün etkisinin anlaşılır olması, uygulama zamanının mevcut bağ yönetimiyle uyumlu olması ve maliyetinin makul düzeyde kalması önemlidir. Çok sayıda uygulama gerektiren, özel ekipman isteyen veya etkisi üretici tarafından kolayca gözlenemeyen ürünlerin yaygınlaşması daha sınırlı olabilir. Buss vd. (2025), düşük kimyasal girdili üretim sistemlerinde biyostimulant kullanımının yalnızca teknik değil, aynı zamanda ekonomik ve uygulamaya dönük engellerle de ilişkili olduğunu belirtmiştir.

Bu nedenle biyostimulant uygulamalarının değerlendirilmesinde küçük ölçekli deneme parselleri yararlı olabilir. Üretici, ürünün bağ koşullarındaki etkisini verim, kalite, bitki gelişimi ve uygulama maliyeti açısından gözlemleyerek daha sağlıklı karar verebilir. Çizelge 3'te yer alan ekonomik uygulanabilirlik başlığı, biyostimulantların yalnızca fizyolojik etkileriyle değil, üretim sistemi içindeki gerçek karşılığıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini gösterebilir.

5. Biyostimulant Kullanımında Sınırlılıklar ve Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar

Biyostimulantlar bağcılıkta sürdürülebilir üretimi destekleyebilecek uygulamalar arasında yer alsa da, bu ürünlerin etkisi her koşulda aynı düzeyde ortaya çıkmamaktadır. Ürün içeriği, formülasyon kalitesi, uygulama zamanı, çevresel koşullar, çeşit/anaç yapısı ve bağ yönetimi sonuçlar üzerinde etkili olabilir. Bu nedenle biyostimulantların değerlendirilmesinde yalnızca olumlu bulgulara odaklanmak yerine, uygulama başarısını sınırlayabilecek yönlerin de dikkate alınması gerekir (Li vd., 2022; Jindo vd., 2022).

5.1. Laboratuvar ve Saha Koşulları Arasındaki Farklılıklar

Biyostimulantlarla ilgili çalışmaların bir kısmı kontrollü koşullarda, saksı denemelerinde veya sınırlı çevresel değişkenlerin bulunduğu ortamlarda yürütülmektedir. Bu çalışmalar mekanizma hakkında önemli bilgiler sağlasa da, bağ alanlarında karşılaşılan değişken koşullar daha karmaşıktır. Toprak tipi, su durumu, sıcaklık dalgalanmaları, mikrobiyal yapı, uygulama geçmişi ve bitki yaşı gibi faktörler saha sonuçlarını değiştirebilir (Rouphael & Colla, 2020; Franzoni vd., 2022). Bu nedenle kontrollü koşullarda elde edilen olumlu sonuçların doğrudan üretici bağlarına aktarılması her zaman mümkün olmayabilir. Özellikle mikrobiyal biyostimulantlarda, mikroorganizmanın kök bölgesinde tutunması ve aktif kalması çevresel koşullara bağlıdır. Benzer şekilde deniz yosunu ekstraktları, amino asitler veya hümitik maddeler de farklı toprak ve iklim koşullarında değişken yanıtlar oluşturabilir (Backer vd., 2018; Jindo vd., 2022). Saha çalışmalarında çok yıllık denemelerin artırılması bu açıdan önemlidir. Bağcılık çok yıllık bir üretim sistemi olduğu için, tek sezonluk sonuçlar ürün etkinliğini değerlendirmede sınırlı kalabilir. Verim, kalite, stres toleransı ve toprak sağlığı gibi parametrelerin birkaç yıl

izlenmesi, biyostimulantların bağ koşullarındaki gerçek etkisini daha sağlıklı yorumlamaya yardımcı olabilir.

5.2. Ürün Standardizasyonu ve İçerik Farklılıkları

Biyostimulantların değerlendirilmesini güçleştiren konulardan biri de ürün içeriklerindeki farklılıktır. Aynı biyostimulant grubunda yer alan ticari ürünler, kullanılan hammadde, üretim yöntemi ve aktif bileşen yoğunluğu bakımından birbirinden farklı olabilir. Bu nedenle farklı çalışmalarda bildirilen sonuçların doğrudan karşılaştırılması her zaman mümkün olmayabilir (Du Jardin, 2015; Roupheal & Colla, 2020). Örneğin deniz yosunu ekstraktlarında kullanılan alg türü, ekstraksiyon yöntemi ve biyoaktif bileşiklerin miktarı ürün etkinliğini etkileyebilir. Benzer şekilde protein hidrolizatlarında ham madde kaynağı ve hidroliz yöntemi; mikrobiyal biyostimulantlarda ise mikroorganizma türü, canlı hücre yoğunluğu ve formülasyon özellikleri uygulama sonucunu değiştirebilir (Franzoni vd., 2022; Castiglione vd., 2021). Bu nedenle biyostimulant çalışmalarında yalnızca ticari ürün adının verilmesi yeterli değildir. Kullanılan ürünün içeriği, uygulama dozu, uygulama zamanı ve uygulama şeklinin ayrıntılı olarak tanımlanması, çalışmaların karşılaştırılabilirliği açısından önem taşımaktadır. Aynı yaklaşım üretici uygulamalarında da geçerlidir. İçeriği açık olarak tanımlanmayan veya standardizasyonu belirsiz ürünlerle elde edilen sonuçların farklı bağ koşullarında tekrarlanması güç olabilir.

5.3. Düzenleyici Çerçeve ve Bilimsel Kanıt Gereksinimi

Son yıllarda biyostimulantlara yönelik ilgi artmış olsa da, ürün çeşitliliğindeki hızlı artış bilimsel değerlendirme ve standardizasyon ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Avrupa Birliği'nin biyostimulantları ayrı bir ürün grubu olarak tanımlaması bu alandaki önemli gelişmelerden biri olmakla birlikte, ürün etkinliğinin farklı çevresel koşullarda doğrulanmasına yönelik çalışmaların sürdürülmesine ihtiyaç duyulmaktadır (European Commission, 2020; Hendriksen, 2022). Bağcılıkta kullanılan biyostimulantların önemli bir kısmı olumlu sonuçlar bildirirse de, bu sonuçların farklı iklim bölgelerinde, farklı çeşitlerde ve farklı yönetim sistemlerinde benzer şekilde ortaya çıkıp çıkmadığı her zaman açık değildir. Bu nedenle çok merkezli saha denemeleri, uzun dönemli gözlemler ve standart değerlendirme ölçütleri, gelecekte yapılacak çalışmalar açısından değerli olabilir (Li vd., 2022; Verdugo-Gaxiola vd., 2025). Biyostimulantların bağcılıkta kullanımına ilişkin bilgi birikimi artmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, ürün seçimi ve uygulama kararlarının tek bir çalışma yerine, farklı çevresel koşullarda elde edilmiş bilimsel bulgular birlikte değerlendirilerek verilmesi daha dengeli bir yaklaşım sağlayabilir.

5.4. Etki Mekanizmalarının Belirsizliği ve Sonuçların Değişkenliği

Biyostimulantların etki mekanizmaları çoğu zaman tek bir aktif bileşenle açıklanamayacak kadar karmaşıktır. Özellikle deniz yosunu ekstraktları, protein hidrolizatları, hümitik maddeler ve mikrobiyal preparatlar çok sayıda organik bileşik, metabolit veya canlı mikroorganizma

içerebilir. Bu durum, ürünün bitki üzerindeki etkisini anlamayı güçleştirebilir. Bu nedenle biyostimulant çalışmalarında yalnızca uygulama sonucuna değil, ürün içeriği, uygulama zamanı ve bitkinin fizyolojik durumu gibi ayrıntılara da yer verilmesi gerekir (Du Jardin, 2015; Rouphael & Colla, 2020; Franzoni vd., 2022). Sonuçların değişken olmasının bir diğer nedeni, bağ koşullarının homojen olmamasıdır. Çeşit/anaç kombinasyonu, toprak yapısı, su durumu, iklim, besleme programı ve mikrobiyal yapı, biyostimulant yanıtını etkileyebilir. Bu nedenle bir çalışmada olumlu sonuç veren uygulamanın, farklı bir bağ alanında aynı düzeyde etki göstermemesi mümkündür. Özellikle mikrobiyal biyostimulantlarda kolonizasyon başarısı ve rizosferde tutunma kapasitesi, çevresel koşullara duyarlı olabilir (Backer vd., 2018; Jindo vd., 2022). Bu belirsizlik, biyostimulantların etkisiz olduğu anlamına gelmez; daha çok bu ürünlerin bağlama bağlı olarak değerlendirilmesi gerektiğini gösterir. Etkinin daha doğru yorumlanabilmesi için verim ve kalite verilerinin yanında yaprak besin durumu, su ilişkileri, antioksidan enzim aktiviteleri, mikrobiyal değişimler ve toprak göstergeleri birlikte ele alınmalıdır. Bu yaklaşım, biyostimulantların hangi koşullarda daha tutarlı sonuç verebileceğini anlamaya katkı sağlayabilir (Li vd., 2022; Verdugo-Gaxiola vd., 2025). Bu nedenle gelecekteki bağcılık çalışmalarında tek sezonluk ve yalnızca sonuç odaklı denemeler yerine, mekanizma ve saha performansını birlikte değerlendiren çalışmaların artırılması yararlı olacaktır. Çok yıllık denemeler, farklı çeşit/anaç kombinasyonları ve karşılaştırılabilir uygulama protokolleri, biyostimulantların bağcılık sistemindeki yerini daha açık biçimde ortaya koyabilir.

5.5. Çevresel Güvenlik ve Uzun Dönem Etkiler

Biyostimulantların çevresel etkileri, ürün grubuna göre farklılık gösterebilir. Organik kaynaklı ürünler, humik maddeler, deniz yosunu ekstraktları ve mikrobiyal preparatlar genellikle düşük riskli uygulamalar olarak değerlendirilse de, her ürünün aynı etkiye sahip olduğu varsayılmamalıdır. Ürünün kaynağı, üretim yöntemi, saflığı, uygulama dozu ve toprakta birikme potansiyeli dikkate alınmalıdır (Du Jardin, 2015; Jindo vd., 2022).

Özellikle mikrobiyal biyostimulantlarda, uygulanan mikroorganizmanın yerel rizosfer topluluklarıyla ilişkisi önemlidir. Ticari suşların toprakta kalıcılığı, yerel mikrobiyom üzerindeki etkisi ve farklı çevre koşullarındaki davranışı her zaman aynı olmayabilir. Bu nedenle mikrobiyal ürünlerde yalnızca bitki gelişimi değil, toprak mikrobiyal dengesi de izlenmelidir (Backer vd., 2018; O'Callaghan vd., 2022). Nanoteknoloji temelli uygulamalarda ise çevresel güvenlik daha dikkatli ele alınmalıdır. Nano-CeO₂ gibi ürünler stres yönetimi açısından araştırılmakla birlikte, nanoparçacıkların toprakta taşınımı, bitki dokularında birikimi ve mikroorganizmalar üzerindeki uzun dönemli etkileri tam olarak net değildir (Daler, 2024; Kumari vd., 2023; Mgadi vd., 2024). Bu nedenle bu ürünlerin yaygın kullanımı öncesinde doz, uygulama sıklığı ve çevresel izleme parametreleri ayrıntılı biçimde değerlendirilmelidir. Bağcılık çok yıllık bir üretim sistemi olduğu için biyostimulantların etkisi yalnızca uygulama sezonu ile sınırlı düşünülmemelidir. Toprak organik maddesi, mikrobiyal aktivite, besin yarıyışlılığı, tuzluluk, ağır metal birikimi ve ürün kalitesi gibi göstergelerin uzun dönemli izlenmesi daha sağlıklı değerlendirme sağlayabilir. Bu yaklaşım, biyostimulant kullanımının hem üretim hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından daha dengeli biçimde planlanmasına yardımcı olabilir.

6. Gelecek Perspektifleri ve Araştırma Öncelikleri

Bağcılıkta biyostimulant kullanımına ilişkin çalışmalar artmakla birlikte, bu ürünlerin farklı bağ koşullarındaki etkilerini daha iyi açıklayabilmek için uzun dönemli ve karşılaştırılabilir denemelere ihtiyaç vardır. Özellikle çeşit/anaç kombinasyonu, fenolojik dönem, uygulama yöntemi ve çevresel koşullar birlikte değerlendirildiğinde, biyostimulant yanıtlarının daha anlaşılır hâle gelebileceği görülmektedir. Mevcut taslakta bu ihtiyaç, kısıtlılıklar ve gelecek öncelikleriyle ilişkilendirilerek Çizelge 4 üzerinden ele alınmaktadır.

Çizelge 4. Biyostimulant araştırma ve uygulamalarındaki temel kısıtlamalar ve gelecek öncelikleri

Kısıtlama Kategorisi	Tanımı ve Kökeni	Somut Örnek ve Etkisi	Önerilen Gelecek Araştırma/Aksiyon Yönelimi
Metodolojik Kısıtlar	Kontrollü koşullarda elde edilen sonuçların saha koşullarında her zaman aynı düzeyde tekrarlanmaması	Sera veya saksı denemesinde olumlu yanıt veren bir ürünün arazide daha sınırlı veya değişken etki göstermesi	Çok lokasyonlu ve çok yıllık saha denemelerinin artırılması; toprak, iklim ve mikrobiyal verilerin standart raporlanması
Ürün Standardizasyonu	Ürün içeriği, canlılık düzeyi veya aktif bileşen miktarındaki farklılıklar	Aynı ürün grubundaki ticari preparatların farklı içerik veya biyolojik aktivite göstermesi	Bağımsız kalite kontrolü, içerik karakterizasyonu ve düzenleyici çerçevelerin açık biçimde uygulanması
Etki Mekanizmalarının Belirsizliği	Karmaşık karışımların moleküler etki yollarının her zaman yeterince açıklanamaması	Bir ürünün olumlu sonuç vermesine rağmen hangi bileşenlerin hangi fizyolojik yanıtlarla ilişkili olduğunun sınırlı bilinmesi	Transkriptomik, metabolomik, proteomik ve mikrobiyom analizlerinin saha verileriyle birlikte kullanılması
Çevresel Risk Değerlendirmesi	Üretimden uygulama sonrasına kadar çevresel etkiler ve uzun dönemli toprak mikrobiyomu üzerine sınırlı veri	Nanoparçacıkların toprak organizmaları ve besin döngüsü üzerindeki olası etkilerinin netleşmemiş olması	Yaşam döngüsü analizi, ekotoksikolojik testler ve uzun dönemli agroekolojik izleme çalışmalarının artırılması
Ekonomik ve Sosyal Kısıtlar	Ürün maliyeti, net getirinin belirsizliği, üretici farkındalığı ve alışılmış uygulamalara bağlılık	Küçük ölçekli üreticilerde ilk yatırım maliyetinin yüksek algılanması ve uzun dönemli faydaların pazara yansıtılmasının güç olması	Maliyet-fayda analizi, üretici demonstrasyonları, yayım programları ve erişilebilir fiyatlandırma yaklaşımları

Gelecek çalışmalarda, yalnızca verim ve kalite parametrelerinin değil, aynı zamanda fizyolojik ve biyokimyasal göstergelerin de izlenmesi yararlı olacaktır. Yaprak su potansiyeli, stoma iletkenliği, klorofil floresansı, antioksidan enzim aktiviteleri, prolin birikimi, yaprak besin durumu ve kök gelişimi gibi parametreler, biyostimulantların hangi koşullarda daha etkili olabileceğini anlamaya katkı sağlayabilir (Irani vd., 2021; Papantzikos vd., 2024; Pereira vd., 2025). Mikrobiyal biyostimulantlar için rizosfer ve mikrobiyom temelli çalışmaların artırılması önemlidir. AMF, PGPR ve mikrobiyal konsorsiyumların etkisi yalnızca bitki gelişimi üzerinden değil, kök çevresindeki mikrobiyal yapı, besin döngüsü ve toprak biyolojik aktivitesiyle birlikte değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, özellikle çok yıllık bağ sistemlerinde mikrobiyal uygulamaların kalıcılığını ve tekrarlanabilirliğini anlamaya yardımcı olabilir (Backer vd., 2018; Darriaut vd., 2025; Wang vd., 2023). Omik teknolojiler, biyostimulantların etki mekanizmalarının daha ayrıntılı değerlendirilmesi için kullanılabilecek araçlar arasında yer almaktadır. Transkriptomik, metabolomik, proteomik ve mikrobiyom analizleri, bitkinin biyostimulant uygulamalarına verdiği yanıtları yalnızca dış gözlemlerle değil, hücresel ve moleküler düzeyde de açıklamaya yardımcı olabilir (Bavaresco vd., 2020; Prinsi vd., 2018;

Zarraonaindia vd., 2023). Ancak bu yöntemlerin saha verileriyle birlikte yorumlanması gerekir; aksi hâlde moleküler düzeyde görülen değişimlerin üretim koşullarındaki karşılığı sınırlı kalabilir. Dijital tarım uygulamaları da biyostimulant kullanımının daha doğru planlanmasına katkı sağlayabilir. Toprak nemi, iklim verileri, bitki gelişim gözlemleri ve geçmiş uygulama sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, ürün seçimi ve uygulama zamanının daha bilinçli belirlenmesi mümkün olabilir. Mevcut taslakta da dijital karar destek sistemleri, bağa özgü uygulama planlarının geliştirilmesi açısından gelecek yönelimlerinden biri olarak ele alınmaktadır. Döngüsel ekonomi yaklaşımı kapsamında, bağcılık ve şarapçılık atıklarından elde edilen organik kaynaklı biyostimulantlar da araştırma değeri taşıyan bir alandır. Bu ürünler hem organik atıkların değerlendirilmesine hem de toprak organik maddesi ve mikrobiyal aktivitenin desteklenmesine katkı sağlayabilir. Bununla birlikte, atık kaynaklı ürünlerde içerik standardizasyonu, hijyen, ağır metal riski ve uygulama güvenliği gibi başlıkların dikkatle incelenmesi gerekir (Xu & Geelen, 2018; Christou vd., 2023). Gelecek araştırmalarda biyostimulant uygulamalarının tek başına değil, sulama, gübreleme, toprak yönetimi ve hastalık yönetimiyle birlikte ele alınması daha uygun olacaktır. Bu tür bütünsel çalışmalar, biyostimulantların bağcılıktaki yerini daha gerçekçi biçimde değerlendirmeye yardımcı olabilir.

7. Sonuç

Biyostimulantlar, bağcılıkta iklim değişikliği, kimyasal girdi azaltımı ve sürdürülebilir üretim hedefleriyle birlikte daha fazla önem kazanan uygulamalar arasında yer almaktadır. Mevcut çalışmalar, bu ürünlerin besin alımı, stres toleransı, kalite özellikleri ve toprak sağlığı üzerinde farklı düzeylerde etkiler oluşturabileceğine işaret etmektedir. Ancak bu etkiler ürün grubuna, uygulama zamanına, dozuna, çeşit/anaç kombinasyonuna ve bağın çevresel koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir. Bağcılıkta AMF, PGPR, deniz yosunu ekstraktları, hümit ve fulvik asitler, amino asitler, protein hidrolizatları, elisitörler, silisyum ve bazı nanoteknoloji temelli ürünler farklı amaçlarla kullanılabilir. Bu ürünlerin ortak yönü, bitkiye doğrudan besin sağlamak yerine bitkinin fizyolojik süreçlerini, rizosfer etkileşimlerini veya stres yanıtlarını desteklemeleridir. Bu nedenle biyostimulantların klasik gübre veya pestisitlerin doğrudan yerine geçmesi beklenmemeli; bağ yönetimi içinde tamamlayıcı uygulamalar olarak değerlendirilmelidir. Çalışmada ele alınan bulgular, biyostimulant uygulamalarının özellikle kuraklık, sıcaklık ve tuzluluk gibi stres koşullarında fizyolojik dayanıklılığı destekleyebileceğini; kalite parametreleri açısından ise SÇKM, fenolik bileşikler, antosiyaninler ve antioksidan kapasite gibi özelliklerle ilişkili sonuçlar verebileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, ürün standardizasyonu, saha koşullarındaki değişkenlik, mekanizma belirsizlikleri ve uzun dönemli çevresel etkiler dikkatle ele alınması gereken başlıklar olarak görünmektedir.

Gelecek çalışmaların çok yıllık saha denemeleri, farklı çeşit/anaç kombinasyonları, standart uygulama protokolleri ve fizyolojik-moleküler analizlerle desteklenmesi yararlı olacaktır. Özellikle biyostimulantların sulama, gübreleme, toprak yönetimi ve hastalık kontrolüyle birlikte ele alındığı bütünsel çalışmalar, bu ürünlerin bağcılıktaki gerçek katkısını daha açık biçimde ortaya koyabilir. Bu yaklaşım, biyostimulantların sürdürülebilir ve iklim koşullarına daha uyumlu bağcılık sistemlerinde daha bilinçli kullanılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Abada, M. (2023). Effect of spraying some amino acids, algae extract, and turmeric extract on shot berries, yield and berries quality of Prime Seedless grapevines. *New Valley Journal of Agricultural Science*. *New Valley Journal of Agricultural Science*, 3(7), 603-613.
- Ahmed, A. F. (2023). Foliar applications of ascorbic and citric acids with soil application of humic acid to improve growth, yield, and fruit quality of grape. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*, 48(2), 129–139. <https://doi.org/10.21608/ajar.2023.215513.1165>
- Andreotti, C., Roupahel, Y., Colla, G., & Basile, B. (2022). Rate and timing of application of biostimulant substances to enhance fruit tree tolerance toward environmental stresses and fruit quality. *Agronomy*, 12(3), 603. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030603>
- Arnao, M. B., & Hernández-Ruiz, J. (2019). Melatonin: A new plant hormone and/or a plant master regulator? *Trends in Plant Science*, 24(1), 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.10.010>
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- Bianchi, D., Ricciardi, V., Pozzoli, C., Grossi, D., Caramanico, L., Pindo, M., Stefani, E., Cestaro, A., Brancadoro, L., & De Lorenzis, G. (2023). Physiological and transcriptomic evaluation of drought effect on own-rooted and grafted grapevine rootstock (1103P and 101-14MGt). *Plants*, 12(5), 1080. <https://doi.org/10.3390/plants12051080>
- Bavaresco, L., Lucini, L., Squeri, C., Zamboni, M., & Frioni, T. (2020). Protein hydrolysates modulate leaf proteome and metabolome in water-stressed grapevines. *Scientia Horticulturae*, 270, 109413. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109413>
- Brulé, D., Héloir, M.-C., Roudaire, T., Villette, J., Bonnet, S., Pascal, Y., Darblade, B., Crozier, P., Hugueney, P., Coma, V., & Poinssot, B. (2024). Increasing vineyard sustainability: Innovating a targeted chitosan-derived biocontrol solution to induce grapevine resistance against downy and powdery mildews. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1360254. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1360254>
- Buss, W., Belt, K., Hein, Z., Putri, A., Zhu, S., Suwandari, H., & Bentley, A. R. (2025). Hurdles to overcome to achieve biostimulant-driven, low chemical input crop production. *Plants, People, Planet*, 1–9. <https://doi.org/10.1002/ppp3.70030>
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
- Castiglione, A., Mannino, G., Contartese, V., Berteà, C. M., & Ertani, A. (2021). Microbial biostimulants as response to modern agriculture needs: Composition, role and application of these innovative products. *Plants*, 10(8), 1533. <https://doi.org/10.3390/plants10081533>
- Cataldo, E., Fucile, M., & Mattii, G. B. (2022). Biostimulants in viticulture: A sustainable approach against biotic and abiotic stresses. *Plants*, 11(2), 162. <https://doi.org/10.3390/plants11020162>

- Christou, A., Spanou, C., Papadopoulos, A., & Tzortzakos, N. (2023). Towards a circular economy: Valorization of winery wastes for sustainable crop production. *Journal of Cleaner Production*, 405, 136899. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136899>
- Corso, M., Vannozzi, A., Moscatello, S., Bonghi, C., Lucchin, M., Ramina, A., Meggio, F., Negri, A. S., Pitacco, A., Tarricone, L., Di Lorenzo, G. S., Nardini, A., Bonghi, C., & Espen, L. (2015). Comparative transcriptomic and genomic analysis of drought tolerance in grapevine rootstocks M4 and 101.14. *Journal of Experimental Botany*, 66(16), 4899–4914. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv274>
- Coskun, D., Deshmukh, R., Sonah, H., Menzies, J. G., Reynolds, O., Ma, J. F., ... & Bélanger, R. R. (2019). The controversies of silicon's role in plant biology. *New Phytologist*, 221(1), 67–85. <https://doi.org/10.1111/nph.15343>
- Daler, S. (2024). Improving grapevine (*Vitis vinifera* L., cv. Superior Seedless) drought tolerance with cerium oxide nanoparticles: Agronomic and molecular insights. *Scientia Horticulturae*, 338, 113606. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113606>
- Darriaut, R., Lailheugue, V., Wastin, J., Tran, J., Martins, G., Ballestra, P., Masneuf-Pomarède, I., Ollat, N., & Lauvergeat, V. (2025). Rhizobacteria from vineyard and commercial arbuscular mycorrhizal fungi induce synergistic microbiome shifts within grapevine root systems. *Scientific Reports*, 15, 27884. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12673-5>
- De Miccolis Angelini, R. M., Rotolo, C., Gerin, D., Abate, D., Pollastro, S., & Faretra, F. (2019). Global transcriptome analysis and differentially expressed genes in grapevine after application of the yeast-derived defense inducer cerevisane. *Pest Management Science*, 75, 2020–2033. <https://doi.org/10.1002/ps.5317>
- Doğan, O., & Yazar, K. (2025). Effect of different seaweed extracts on yield, quality and physiological characteristics of the Alphonse Lavallée (*Vitis vinifera* L.) grape variety. *Horticulturae*, 11(9), 1118. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11091118>
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Duan, B., Li, L., Chen, G., Su-Zhou, C., Li, Y., Merkeryan, H., Liu, W., & Liu, X. (2021). 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase-producing plant growth-promoting rhizobacteria improve drought stress tolerance in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12, 706990. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.706990>
- El-Salhy, A. F. M., Al-Wasfy, M. M., Salem, E. N. H., & Abdalla, O. G. (2023). Minimizing mineral-N fertilization Superior Seedless grapevines by using humic and fulvic acids. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, 54(1), 227–238. <https://doi.org/10.21608/ajas.2023.179162.1207>
- European Commission. (2020). Farm to fork strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 381, 1–9.
- European Parliament and Council of the European Union. (2019). Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products. *Official Journal of the European Union*.

- Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A., & Espen, L. (2022). Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions. *Horticulturae*, 8(3), 189. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>
- Frioni, T., Sabbatini, P., Tombesi, S., Norrie, J., Poni, S., Gatti, M., & Palliotti, A. (2018). Effects of a biostimulant derived from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* on ripening dynamics and fruit quality of grapevines. *Scientia Horticulturae*, 232, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.054>
- Frioni, T., VanderWeide, J., Palliotti, A., Tombesi, S., Poni, S., & Sabbatini, P. (2021). Foliar vs. soil application of *Ascophyllum nodosum* extracts to improve grapevine water stress tolerance. *Scientia Horticulturae*, 277, 109807. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109807>
- Ganugi, P., Caffi, T., Gabrielli, M., Secomandi, E., Fiorini, A., Zhang, L., Fiorini, A., & Lucini, L. (2023). A 3-year application of different mycorrhiza-based plant biostimulants distinctively modulates photosynthetic performance, leaf metabolism, and fruit quality in grapes (*Vitis vinifera* L.). *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1236199. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1236199>
- Gentileco, G., Alba, V., Forte, G., Milella, R., Roselli, G., & D’Arcangelo, M. (2025). Effects of inactive yeast biostimulants on mechanical and color attributes of wine grape cultivars. *Sustainability*, 17(15), 6958. <https://doi.org/10.3390/su17156958>
- Hajji-Hedfi, L., Wannassi, T., & Abdel-Azeem, A. M. (2025). Harnessing a microbial consortium and compost to control grapevine pathogens: A sustainable viticulture strategy for disease suppression and quality enhancement. *Horticulturae*, 11(7), 769. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11070769>
- Hakim, S., Naqqash, T., Nawaz, M. S., Laraib, I., Siddique, M. J., Zia, R., Mirza, M. S., & Imran, A. (2021). Rhizosphere engineering with plant growth-promoting microorganisms for agriculture and ecological sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 617157. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.617157>
- Hallac Turk, F., & Kurt, A. (2025). The effects of plant and animal-derived aminoacid and humic acid-based biostimulants on yield and quality in the wine grape. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1659765. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1659765>
- Hendriksen, N. B. (2022). Microbial biostimulants—The need for clarification in EU regulation. *Trends in Microbiology*, 30(4), 311–313. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2022.01.008>
- Ingrisano, R., Tosato, E., Trost, P., Gurrieri, L., & Sparla, F. (2023). Proline, cysteine and branched-chain amino acids in abiotic stress response of land plants and microalgae. *Plants*, 12(19), 3410. <https://doi.org/10.3390/plants12193410>
- Irani, H., ValizadehKaji, B., & Naeini, M. R. (2021). Biostimulant-induced drought tolerance in grapevine is associated with physiological and biochemical changes. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00200-9>
- Jindo, K., Goron, T. L., Pizarro-Tobías, P., Sánchez-Monedero, M. A., Audette, Y., Deolu-Ajayi, A. O., van der Werf, A., Teklu, M. G., Shenker, M., Pombo Sudré, C., Busato, J. G., Ochoa-Hueso, R., Nocentini, M., Rippen, J., Aroca, R., Mesa, S., Delgado, M. J., & Tortosa,

- G. (2022). Application of biostimulant products and biological control agents in sustainable viticulture: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 932311. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.932311>
- Kumari, R., Suman, K., Karmakar, S., Mishra, V., Lakra, S. G., Saurav, G. K., & Mahto, B. K. (2023). Regulation and safety measures for nanotechnology-based agri-products. *Frontiers in Genome Editing*, 5, 1200987. <https://doi.org/10.3389/fgeed.2023.1200987>
- Küskü, D., Tahmaz Karaman, H., & Kunter, B. (2025). The influence of rootstock and biostimulants on the dynamics of antioxidant defense mechanisms under salt stress in potted Öküzgözü grapevines (*Vitis vinifera* L.). *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 9(2), 583–598. <https://doi.org/10.31015/2025.2.32>
- Labarga, D., Mairata, A., Puellas, M., Martín, I., Albacete, A., García-Escudero, E., & Pou, A. (2023). The rootstock genotypes determine drought tolerance by regulating aquaporin expression at the transcript level and phytohormone balance. *Plants*, 12(4), 718. <https://doi.org/10.3390/plants12040718>
- Li, J., Van Gerrewey, T., & Geelen, D. (2022). A meta-analysis of biostimulant yield effectiveness in field trials. *Frontiers in Plant Science*, 13, 836702. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.836702>
- Mendes, R., De Barros, I., D'Andréa, P., D'Andréa-Kühl, M., & Rodrigues, G. P. (2023). A multi-attribute approach to evaluating the impact of biostimulants on crop performance. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1214112. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1214112>
- Mgadi, K., Ndaba, B., Roopnarain, A., Rama, H., & Adeleke, R. (2024). Nanoparticle applications in agriculture: Overview and response of plant-associated microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1354440. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1354440>
- Monteiro, E., Gonçalves, B., Cortez, I., & Castro, I. (2022). The role of biostimulants as alleviators of biotic and abiotic stresses in grapevine: A review. *Plants*, 11(3), 396. <https://doi.org/10.3390/plants11030396>
- O'Callaghan, M., Ballard, R. A., & Wright, D. (2022). Soil microbial inoculants for sustainable agriculture: Limitations and opportunities. *Soil Use and Management*, 38(3), 1340–1369. <https://doi.org/10.1111/sum.12811>
- Olavarrieta, C., Sampedro, M., Vallejo, A., Štefelová, N., Barrio, R. J., & De Diego, N. (2022). Biostimulants as an alternative to improve the wine quality from *Vitis vinifera* cv. Tempranillo in La Rioja. *Plants*, 11(12), 1594. <https://doi.org/10.3390/plants11121594>
- Papantzikos, V., Papanikou, A., Stournaras, V., Mpeza, P., Mantzoukas, S., & Patakioutas, G. (2024). Biostimulant effect of commercial rhizobacteria formulation on the growth of *Vitis vinifera* L.: Case of optimal and water deficit conditions. *Applied Biosciences*, 3(1), 151–164. <https://doi.org/10.3390/applbiosci3010010>
- Peli, M., Ambrosini, S., Sorio, D., Pasquarelli, F., Zamboni, A., & Varanini, Z. (2024). The soil application of a plant-derived protein hydrolysate speeds up selectively the ripening-specific processes in table grape. *Physiologia Plantarum*, 177(1), e70033. <https://doi.org/10.1111/pp1.70033>
- Pereira, S., Monteiro, A., Baltazar, M., Maia, C., Pereira, S., Oliveira, M. J., ... & Dinis, L. T. (2025). Modulating grapevine performance and hormonal dynamics under summer stress by the synergistic effects of kaolin and silicon. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1639169. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1639169>

- Petoumenou, D. G., & Liava, V. (2025). Sustainable foliar applications to improve grapevine responses to drought, high temperatures, and salinity: Impacts on physiology, yields, and berry quality. *Plants*, 14(14), 2157. <https://doi.org/10.3390/plants14142157>
- Prinsi, B., Negri, A., Failla, O., Scienza, A., & Espen, L. (2018). Root proteomic and metabolic analyses reveal specific responses to drought stress in differently tolerant grapevine rootstocks. *BMC Plant Biology*, 18(1), 126. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1343-0>
- Puccioni, S., Biselli, C., Perria, R., Zanella, G., & D'Arcangelo, M. E. M. (2025). Alternative effects yeast-based biostimulants against downy mildew in *Vitis vinifera* cv Cabernet Sauvignon. *Horticulturae*, 11(2), 203. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11020203>
- Rashid, D., & Al-Atrushy, S. (2023). Effect of foliar applications of amino acids, benzyl adenine and nano-fertilizers on yield quantity and quality of grapevine cv. Thompson Seedless. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1158(4), 042072. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/4/042072>
- Roche, D., Rickson, J., & Pawlett, M. (2024). Moving towards a mechanistic understanding of biostimulant impacts on soil properties and processes: A semi-systematic review. *Frontiers in Agronomy*, 6, 1271672. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1271672>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., De Pascale, S., Bonini, P., & Colla, G. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 196, 91–108. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.002>
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
- Topuz, H., Keskin, N., Kiraz, M. E., Tarım, G., Topuz, F., Ozel, N., & Kaya, O. (2023). Effect of foliar spraying of *Ascophyllum nodosum* extracts on grape quality of 'Tarsus Beyazı'. *Erwerbs-Obstbau*, 65(6), 1873–1879. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00755-x>
- Verdugo-Gaxiola, S. E., Diaz-Rubio, L., Montaña-Soto, M. T., Castro-López, L. D. R., Castillo, G., & Córdova-Guerrero, I. (2025). Advances in biostimulant applications for grapevine (*Vitis vinifera* L.): Physiological, agronomic, and quality impacts. *Horticulturae*, 11(10), 1261. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11101261>
- Wang, G., Jin, Z., George, T. S., Feng, G., & Zhang, L. (2023). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance plant phosphorus uptake through stimulating hyphosphere soil microbiome functional profiles for phosphorus turnover. *New Phytologist*, 238(6), 2578–2593. <https://doi.org/10.1111/nph.18772>
- Xu, L., & Geelen, D. (2018). Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1567. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01567>
- Yuan, Y., Tang, C., Jin, Y., Cheng, K., & Yang, F. (2022). Contribution of exogenous humic substances to phosphorus availability in soil-plant ecosystem: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(10), 1085–1102. <https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2120317>
- Zarraonaindia, I., Cretazzo, E., Mena-Petite, A., Díez-Navajas, A., Pérez-López, U., Lacuesta, M., Pérez-Álvarez, E., Puertas, B., Fernández-Díaz, C., Bertazzon, N., & Cantos-Villar, E. (2023). A holistic understanding of the response of grapevines to foliar application of

seaweed extracts. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1119854.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1119854>

**ANTIMICROBIAL AND ANTI-MRSA ACTIVITIES OF ETHANOL EXTRACTS
FROM *ARUM ITALICUM* MILL.**

Asst. Prof. Dr. Erdoğan GÜNEŞ

Department of Biology, Faculty of Science, Selçuk University
erdogangunes@selcuk.edu.tr - ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2833-5710>

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the antimicrobial activity of ethanol extracts obtained from the root (tuber) and aerial parts of *Arum italicum* Mill. against selected standard pathogenic microorganisms and to evaluate their anti-MRSA activity against clinically isolated MRSA (Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*) strains. Antimicrobial activity was evaluated using the broth microdilution method, and the extracts were tested at concentrations ranging from 12.5 - 0.006 mg/mL. The ethanol extract obtained from the aerial parts exhibited antibacterial activity against the Gram-negative *Pseudomonas aeruginosa* and *Salmonella enteritidis* standard bacteria at a concentration of 3.12 mg/mL, whereas no activity was detected against *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*. The minimum inhibitory concentration (MIC) value was determined as 3.12 mg/mL for *Staphylococcus aureus* and 1.56 mg/mL for *Sarcina lutea*, both Gram-positive bacteria. The highest antibacterial activity was observed against the *Bacillus cereus* strain with an MIC value of 0.39 mg/mL. The ethanol extract obtained from the root showed no antibacterial activity against any of the Gram-negative standard strains, However, it exhibited antibacterial activity at a concentration of 6.25 mg/mL against Gram-positive *S. aureus* and 3.12 mg/mL against *S. lutea* and *B. cereus*. Furthermore, it was determined that neither the root nor the aerial parts of the ethanol extract showed any antifungal activity against the *Candida albicans* yeast strain. The ethanol extract obtained from the aerial parts of the plant showed anti-MRSA activity at doses of 1.56 - 6.25 mg/ml against all tested MRSA strains, while the ethanol extract from the root part showed activity at a dose of 6.25 mg/ml against all strains except MRSA 9, 13, and 14. In conclusion, the ethanol extract obtained from the aerial parts of *Arum italicum* was found to possess significant antibacterial and anti-MRSA activities. These findings suggest that this plant may serve as a potential resource for the development of natural antimicrobial agents.

Keywords: Antimicrobial activity, anti-MRSA, *Arum italicum*, Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*

1. INTRODUCTION

Infectious diseases continue to represent a significant global health challenge and remain a major cause of mortality worldwide. The extensive and improper use of commercially available antimicrobial agents for the management of infectious diseases has played an important role in the development the rapid emergence and dissemination of antimicrobial resistance in human pathogenic microorganisms. This growing resistance reduces the effectiveness of existing therapeutic options and complicates the management of infectious diseases. In particular, the development of multidrug-resistant (MDR) strains, which exhibit resistance to multiple antibiotics simultaneously, has become a serious concern in both healthcare settings and the broader community (Abiramasundari et al., 2011; Amenu, 2014).

Staphylococcus aureus is recognized as a major opportunistic bacterial pathogen responsible for various human infections, ranging from localized skin infections, including furuncles and abscesses, to severe systemic conditions that may become life-threatening, including sepsis, pneumonia, and toxic shock syndrome. (Hw, 2008; Snowden et al., 2014). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) is recognized as a major multidrug-resistant bacterial pathogen of clinical relevance and a significant contributor to healthcare-associated infections. The management of MRSA infections remains highly challenging due to the organism's resistance to nearly all commonly used antibiotics in clinical practice. For many MRSA strains, glycopeptide antibiotics such as vancomycin have long served as the primary therapeutic option. However, the emergence and subsequent reporting of vancomycin-resistant *Staphylococcus aureus* (VRSA) strains have raised serious concerns regarding the future effectiveness of current antimicrobial therapies and the management of resistant staphylococcal infections (Adwan et al., 2009; Control & Prevention, 2002; Tenover et al., 2004).

The growing prevalence of multidrug-resistant bacterial pathogens has accelerated efforts to identify novel antimicrobial agents capable of overcoming the challenges associated with antibiotic resistance (Harish Chandra et al., 2017). In this context, Medicinal plants have attracted increasing interest as promising sources of bioactive compounds with potential therapeutic applications. Plants are capable of synthesizing diverse classes of secondary metabolites, such as alkaloids, flavonoids, phenolic compounds, tannins, and terpenoids, many of which have been reported to exhibit antimicrobial activity against various pathogenic microorganisms (Cowan, 1999). These phytochemicals may exert their antimicrobial effects through various mechanisms, including disruption of bacterial membrane integrity, suppression of biofilm development, and modulation of quorum sensing pathways (Silva et al., 2016). Due to their chemical diversity and different biological targets, plant-derived compounds are considered promising candidates for complementary or alternative approaches against antibiotic-resistant infections (Cowan, 1999; Harish Chandra et al., 2017). Therefore, the search for natural products with activity against resistant bacterial pathogens has become an important research area.

The family Araceae is represented in the flora of Türkiye by 32 taxa belonging to five genera, namely *Arisarum*, *Arum*, *Biarum*, *Dracunculus*, and *Eminium* (Davis, 1965; Ulusoylu & Gürbüz, 2022) Among these genera, *Arum* has attracted considerable ethnobotanical and phytochemical interest owing to its traditional uses and reported biological activities. Among

its members, *Arum italicum* Mill. has received particular attention due to its traditional medicinal applications and reported biological activities. This perennial herbaceous species is commonly known as “yılan yastığı” among local communities in Türkiye. Traditionally, different parts of *A. italicum* have been used in folk medicine; however, plants belonging to the genus *Arum* should be evaluated carefully because some species contain bioactive compounds that may have toxic effects depending on the plant part and preparation method (Baytop, 1999). Phytochemical studies on *A. italicum* have reported the presence of several bioactive constituents, including phenolic compounds and flavonoid derivatives, which may contribute to its biological properties (Rechek et al., 2023). In addition, extracts obtained from *A. italicum* leaves have demonstrated antimicrobial and antibiofilm activities against several pathogenic microorganisms, indicating its potential as a source of natural antimicrobial compounds (Hacıoğlu et al., 2021).

This study was undertaken to investigate the antimicrobial potential of ethanolic extracts prepared from the tuber and aerial parts of *Arum italicum* against selected reference bacterial strains and to evaluate their anti-MRSA activity against clinical MRSA isolates.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Material and Method

2.1.1. Plant Material and Extraction

Arum italicum specimens were obtained from Ağdacı Village, Bartın Province, Türkiye, in May 2021. The collected plant material was taxonomically identified by Prof. Dr. Evren YILDIZTUGAY (Department of Biotechnology, Faculty of Science, Selçuk University). Following collection, the samples were dried under shade at ambient temperature and subsequently ground into powder. The tuber and aerial parts of the plant were separated and extracted independently. Ethanolic extracts were prepared using the maceration method. For the extraction process, 10 g of powdered plant material obtained from each part of the plant was mixed with 200 mL of ethanol and continuously stirred at room temperature for 24 h using a magnetic stirrer. Following the extraction period, the obtained mixtures were filtered through Whatman No. 1 filter paper, and the solvent was evaporated under reduced pressure using a rotary evaporator. Following extraction, the crude extracts were maintained at 4 °C prior to antimicrobial evaluation. (Acquaviva et al., 2023).

2.1.2. Microorganisms

The antimicrobial activity of *Arum italicum* extracts was evaluated against a diverse group reference microorganisms, including Gram-negative bacteria, Gram-positive bacteria, and a yeast strain. The Gram-negative bacteria used in this study were *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 70603, and *Salmonella enteritidis* ATCC 13076. The Gram-positive bacteria included methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) ATCC 43300, *Sarcina lutea* ATCC 9341, and *Bacillus cereus*

ATCC 11778. In addition, *Candida albicans* NRRL Y-417 was included as a representative yeast strain. To evaluate the anti-MRSA activity of the extracts, fourteen clinical MRSA isolates were also included in the study. All reference strains and clinical isolates were supplied by the Microbiology Research Laboratory, Department of Biology, Faculty of Science, Selçuk University, Türkiye.

2.1.3. Antimicrobial assay

The minimum inhibitory concentrations (MICs) of the *A. italicum* extracts were evaluated using the broth microdilution assay based on CLSI (2011) criteria with slight adjustments based on the methodology reported by Zengin et al.(2014). The ethanol-derived extracts were dissolved in dimethyl sulfoxide (DMSO), resulting in stock preparations adjusted to 50 mg/mL. Fresh microbial cultures were prepared by inoculating stock cultures into Brain Heart Infusion (BHI) broth and incubating them overnight. Prior to the assay, the microbial suspensions were adjusted to the turbidity equivalent of 0.5 McFarland, yielding an initial concentration of approximately 1×10^8 CFU/mL. The suspensions were then diluted to reach a final inoculum level of 5×10^5 CFU/mL per well. A volume of 100 μ L of Mueller–Hinton Broth (MHB) was added to each well of sterile 96-well microplates. Subsequently, 100 μ L of the extract stock solution was transferred into the first well, and two-fold serial dilutions were performed across the plate to obtain final extract concentrations ranging from 12.5 to 0.006 mg/mL. Afterwards, 100 μ L of the prepared microbial suspension was inoculated into each well. Dimethyl sulfoxide (DMSO) served as the negative control, whereas gentamicin was used as the positive control. The microplates were incubated at 37°C for 18–24 h. After the incubation period, each well was supplemented with 20 μ L of 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC) solution, followed by an additional incubation period of 30 min at 37°C to allow color formation. Microbial growth was evaluated visually according to the development of pink or red coloration. The MIC was recorded as the lowest extract concentration that prevented visible color change, indicating inhibition of microbial growth.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The antimicrobial and anti-MRSA activities of the ethanol extracts obtained from the tuber and aerial parts of *Arum italicum* were assessed by the broth microdilution method against standard pathogenic microorganisms and clinical MRSA isolates, and the corresponding MIC values are presented in Table 1.

Table 1. Antimicrobial activity of *Arum italicum* ethanol extracts expressed as minimum inhibitory concentrations (MICs)

Tested Microorganisms	MIC values of ethanol extracts of <i>Arum italicum</i> (mg/mL)		Gentamicin (µg/mL)	Oxacillin (µg/mL)
	Aerial parts	Root(Tuber)		
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	-	-	0.3125	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	3.12	-	0.078	
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 70603	-	-	2.5	
Methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i> (MRSA) ATCC 43300	3.12	6.25	0.3125	
<i>Salmonella enteritidis</i> ATCC 13076	3.12	-	0.625	
<i>Sarcina lutea</i> ATCC 9341	1.56	3.12	0.078	
<i>Bacillus cereus</i> ATCC 11778	0.39	3.12	0.625	
<i>Candida albicans</i> NRRL Y-417	-	-	-	
MRSA-1	3.12	6.25	156.25	16
MRSA-2	3.12	6.25	312.5	≥128
MRSA-3	3.12	6.25	312.5	32
MRSA-4	3.12	6.25	156.25	32
MRSA-5	3.12	6.25	156.25	≥128
MRSA-6	3.12	6.25	312.5	≥128
MRSA-7	3.12	6.25	156.25	≥128
MRSA-8	3.12	6.25	78.12	≥128
MRSA-9	6.25	-	78.12	≥128
MRSA-10	3.12	6.25	156.25	8
MRSA-11	1.56	6.25	156.25	≥128
MRSA-12	3.12	6.25	78.12	16
MRSA-13	6.25	-	78.12	≥128
MRSA-14	6.25	-	156.25	≥128

The ethanol extract obtained from the aerial parts of *Arum italicum* exhibited antibacterial effect against the Gram-negative bacteria *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 and *Salmonella enteritidis* ATCC 13076, with MIC values of 3.12 mg/mL. However, no inhibitory effect was observed against *Escherichia coli* ATCC 25922 or *Klebsiella pneumoniae* ATCC 70603 within the tested concentration range. Among the Gram-positive bacteria, the extract showed antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 and *Sarcina lutea* ATCC 9341, with MIC values of 3.12 and 1.56 mg/mL, respectively. The highest antibacterial effect was observed against *Bacillus cereus* ATCC 11778, with an MIC value of

0.39 mg/mL. Furthermore, the aerial part extract did not show antifungal activity against *Candida albicans* NRRL Y-417.

Further evaluation of the anti-MRSA activity demonstrated that the aerial part extract of *A. italicum* inhibited the growth of all tested MRSA strains, MIC values varying from 1.56 to 6.25 mg/mL. Among the tested isolates, MRSA strains 1–8, 10, and 12 were inhibited at an MIC value of 3.12 mg/mL, whereas strains 9, 13, and 14 showed MIC values of 6.25 mg/mL. The **highest anti-MRSA activity was observed against** MRSA strain 11, which exhibited the lowest MIC value (1.56 mg/mL) (Table 1).

Regarding the ethanol extract of the tuber of *A. italicum*, no antibacterial effect was detected against the tested Gram-negative reference bacterial strains. However, the tuber extract display inhibitory effect against Gram-positive reference bacteria, with MIC values of 6.25 mg/mL for *Staphylococcus aureus* ATCC 43300 and 3.12 mg/mL for both *Sarcina lutea* ATCC 9341 and *Bacillus cereus* ATCC 11778. In addition, the tuber extract did not show antifungal activity against the yeast strain *Candida albicans* NRRL Y-417 (Table 1).

The evaluation of the tuber extract against clinical MRSA isolates revealed that no inhibitory activity was observed against MRSA strains 9, 13, and 14. Nevertheless, the remaining tested strains were susceptible to the extract, with an MIC value of 6.25 mg/mL (Table 1).

A comparison of the antimicrobial effects of the ethanol extracts obtained from the aerial parts and tuber of *A. italicum* revealed that the aerial part extract exhibited stronger antibacterial and anti-MRSA activity than the tuber extract. This was supported by the lower MIC values observed against both standard bacterial strains and clinical MRSA isolates (Table 1).

Various studies conducted on *Arum* species have demonstrated that members of this genus possess antimicrobial activity against a wide range of pathogenic microorganisms. In a study evaluating the leaf extracts of *Arum maculatum*, the ethanol extract exhibited antibacterial activity against the Gram-negative bacteria *S. enteritidis*, *P. aeruginosa*, and *E. coli*, as well as the Gram-positive bacterium *S. aureus* (Farahmandfar et al., 2019). In the present study, antibacterial activity was also observed against all of these microorganisms except *E. coli*, and these findings are largely consistent with those reported by the authors. In another study investigating the methanol extracts derived from the roots and leaves of *A. maculatum*, both root and leaf extracts exhibited antibacterial effect against *E. coli*, *P. aeruginosa*, and *S. aureus* (Düz, 2024). In contrast, the ethanol extracts obtained from the tubers and aerial parts of *Arum italicum* in the present study showed no antibacterial activity against *E. coli*, whereas they were effective against *P. aeruginosa* and *S. aureus*. Erbil et al. (2018), demonstrated that methanol extracts prepared from the leaves of *A. maculatum* exhibited higher antimicrobial activity than fruit extracts. However, similar to the findings of the present study, no antifungal activity against *Candida albicans* was detected. Likewise, Çolak et al. (2009), demonstrated that different leaf extracts of *A. maculatum* exhibited strong antibacterial effect against *B. cereus*, which is in agreement with our findings.

In a study evaluating the aqueous extracts of *Arum cyreniacum* at different concentrations, the 400 mg/mL extract exhibited antibacterial effect against *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, and *B. cereus*. However, when the concentration was reduced to 100

mg/mL, only *B. cereus* remained susceptible (Abdulrazziq & Salih, 2020). Similarly, in another study conducted using the tubers of the same species, no antibacterial efficacy was observed against *E. coli*, whereas antibacterial activity against *P. aeruginosa* and *S. aureus* was reported (Ramadan et al.), which is consistent with the findings of the present study. Dwikat et al. (2021) evaluated the antibacterial activity of flower extracts of *Arum palaestinum* against Gram-negative and Gram-positive bacteria and reported MIC values of 6.25 mg/mL against *E. coli* and *K. pneumoniae* and 3.12 mg/mL against *P. aeruginosa* and *S. aureus*. The MIC value reported for *S. aureus* is comparable to that obtained in the present study. Furthermore, consistent with our findings, the authors reported no antifungal activity against *C. albicans*. In the same study, the extracts exhibited anti-MRSA activity against clinical MRSA isolates with an MIC value of 6.25 mg/mL, which is also comparable to the anti-MRSA effect observed in the present study. Al-Daghistani et al. (2021) reported that *Arum hygrophilum* extracts exhibited antibacterial activity against *S. aureus* and also demonstrated anti-MRSA activity against clinical MRSA isolates. Similarly, Ulusoylu and Gürbüz (2022), investigated the antibacterial effect of saponin and alkaloid extracts obtained from the leaves of *A. italicum* and found that the saponin extract was particularly effective against *S. aureus* and *Staphylococcus epidermidis*. These findings support the strong antibacterial and anti-MRSA activities of the ethanol extract derived from the aerial parts of *A. italicum* observed in the present study. In another study investigating the antimicrobial activities of different extracts obtained from the leaves of *A. italicum*, ethanol extracts were reported to exhibit antibacterial efficacy against *S. aureus*, *S. epidermidis*, and *P. aeruginosa* (Hacıoğlu et al., 2021).

The differences observed among these studies may be attributed to variations in extraction solvents, extraction methods, plant parts used, species differences, the environmental factors associated with plant growth conditions, and the susceptibility of the tested microorganisms. Moreover, as reported in many previous studies, Gram-negative bacteria exhibited lower susceptibility to the plant extracts than Gram-positive bacteria. This lower susceptibility is thought to result from the presence of an extra outer membrane layer enriched with lipopolysaccharides (LPS), proteins, and phospholipids, which serves as a selective barrier, reducing the penetration of various antibacterial agents into the bacterial cell (Maregesi et al., 2008).

4. CONCLUSION

In conclusion, the present study demonstrated that ethanol extracts obtained from the aerial parts and tubers of *Arum italicum* exhibit antibacterial activity against several pathogenic microorganisms and possess anti-MRSA effect against clinical methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) isolates. The aerial part extract showed stronger antibacterial and anti-MRSA activity than the tuber extract. These findings support the antimicrobial potential of *A. italicum* and suggest that this species may serve as a promising natural source of antibacterial compounds. Additional studies are needed to identify and characterize the bioactive compounds associated with these biological activities and to determine their modes of action and possible therapeutic relevance.

REFERENCES

- Abdulrazziq, A. A., & Salih, S. M. (2020). Effect of Aqueous Extracts of *Arum cyreniacum* on Some Negative and Positive Gram bacteria. *Al-Mukhtar Journal of Sciences*, 35(1), 60–68.
- Abiramasundari, P., Priya, V., Jeyanthi, G., & Devi, S. G. (2011). Evaluation of the antibacterial activity of *Cocculus hirsutus*.
- Acquaviva, A., Di Simone, S. C., Nilofar, Bouyahya, A., Zengin, G., Recinella, L., Leone, S., Brunetti, L., Uba, A. I., & Guler, O. (2023). Screening for chemical characterization and pharmacological properties of different extracts from *Nepeta italica*. *Plants*, 12(15), 2785.
- Adwan, G., Abu-Shanab, B., & Adwan, K. (2009). In vitro interaction of certain antimicrobial agents in combination with plant extracts against multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* strains. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 4(3), 158–162.
- Al-Daghistani, H. I., Abu-Niaaj, L. F., Bustanji, Y., Al-Hamaideh, K., Al-Salamat, H., Nassar, M., Jaber, H., Amer, N., Abu-Irmaileh, B., & Al-Nuaimi, A. (2021). Antibacterial and cytotoxicity evaluation of *Arum hygrophilum* Bioss. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 25(23), 7306–7316.
- Amenu, D. (2014). Antimicrobial activity of medicinal plant extracts and their synergistic effect on some selected pathogens. *American Journal of Ethnomedicine*, 1(1), 18–29.
- Baytop, T. (1999). Therapy with medicinal plants in Turkey (past and present). *Publication of the istanbul University*, 312, 2–3.
- Control, C. f. D., & Prevention. (2002). *Staphylococcus aureus* resistant to vancomycin--United States, 2002. *MMWR. Morbidity and mortality weekly report*, 51(26), 565–567.
- Cowan, M. M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews*, 12(4), 564–582.
- Çolak, F., Savaroğlu, F., & İlhan, S. (2009). Antibacterial and antifungal activities of *Arum maculatum* L. leaves extracts. *Journal of Applied Biological Sciences*, 3(3), 13–16.
- Davis, P. (1965). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* Edinburgh University Press. In: Edinburgh.
- Düz, M. (2024). In vitro Antimicrobial Activity, Antioxidant Activity and Synergistic/Antagonistic Effect of *Arum maculatum* L. in Mersin Province, Turkey. *Tarım ve Doga Dergisi*, 27(2), 261.
- Dwikat, M., Jaradat, N., Amer, J., Rahim, A. A., Alqadi, M., Murad, H., Modallal, A., & Shalabni, K. (2021). Antimicrobial, Anticoagulant and Anticancer Effects of *Arum Palaestinum* Flowers Extracts.
- Erbil, N., Arslan, M., & Murathan, Z. T. (2018). Antioxidant, antimicrobial, and antimutagenic effects and biochemical contents of *Arum maculatum* L. That is a medical plant from turkish flora. *Fresenius Environmental Bulletin*, 12, 8709–8714.
- Farahmandfar, R., Esmaeilzadeh Kenari, R., Asnaashari, M., Shahrampour, D., & Bakhshandeh, T. (2019). Bioactive compounds, antioxidant and antimicrobial activities of *Arum maculatum* leaves extracts as affected by various solvents and extraction methods. *Food science & nutrition*, 7(2), 465–475.
- Hacıoğlu, M., Kulaksız, B., Alpınar, K., Hacıosmanoğlu, E., & Tan, A. (2021). In vitro antimicrobial, antibiofilm and cytotoxic activities of the extracts of *Arum italicum* Miller leaves.

- Harish Chandra, H. C., Parul Bishnoi, P. B., Archana Yadav, A. Y., Babita Patni, B. P., Mishra, A., & Nautiyal, A. (2017). Antimicrobial resistance and the alternative resources with special emphasis on plant-based antimicrobials-a review.
- Hw, B. (2008). Epidemiology of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Clin Infect Dis.*, 46(5), S344–S349.
- Maregesi, S. M., Pieters, L., Ngassapa, O. D., Apers, S., Vingerhoets, R., Cos, P., Vanden Berghe, D. A., & Vlietinck, A. J. (2008). Screening of some Tanzanian medicinal plants from Bunda district for antibacterial, antifungal and antiviral activities. *Journal of ethnopharmacology*, 119(1), 58–66.
- Ramadan, L. B., Zwawi, A., Salem, M., & Auzi, A. Antibacterial Activity of *Arum Cyrenicum* Hurby Corms.
- Rechek, H., Haouat, A., Pinto, D. C., Pereira, D. M., Pereira, R. B., Válega, M. S., Cardoso, S. M., & Silva, A. M. (2023). A comparative analysis between the phenolic content, key enzyme inhibitory potential, and cytotoxic activity of *Arum italicum* miller in two different organs. *International Journal of Plant Biology*, 14(2), 520–532.
- Silva, L. N., Zimmer, K. R., Macedo, A. J., & Trentin, D. S. (2016). Plant natural products targeting bacterial virulence factors. *Chemical reviews*, 116(16), 9162–9236.
- Snowden, R., Harrington, H., Morrill, K., Jeane, L., Garrity, J., Orian, M., Lopez, E., Rezaie, S., Hassberger, K., & Familoni, D. (2014). A comparison of the anti-*Staphylococcus aureus* activity of extracts from commonly used medicinal plants. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine: Paradigm, Practice, and Policy Advancing Integrative Health*, 20(5), 375–382.
- Tenover, F. C., Weigel, L. M., Appelbaum, P. C., McDougal, L. K., Chaitram, J., McAllister, S., Clark, N., Killgore, G., O'Hara, C. M., & Jevitt, L. (2004). Vancomycin-resistant *Staphylococcus aureus* isolate from a patient in Pennsylvania. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 48(1), 275–280.
- Ulusoylu, M., & Gürbüz, B. (2022). The cytotoxicity and the antimicrobial activities of *Arum italicum* Miller. *Journal of Research in Pharmacy*, 26(4).
- Wayne, P. (2011). Clinical and laboratory standards institute. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing.
- Zengin, G., Uysal, A., Gunes, E., & Aktumsek, A. (2014). Survey of phytochemical composition and biological effects of three extracts from a wild plant (*Cotoneaster nummularia* Fisch. et Mey.): A potential source for functional food ingredients and drug formulations. *PloS one*, 9(11), e113527.

EFFECT OF AN UNDERLYING STIFF LAYER ON THE SETTLEMENT BEHAVIOUR OF SHALLOW FOUNDATIONS IN LAYERED SOIL

Assist. Prof. Dr. Canan Turan¹

¹ Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of
Civil Engineering, 0000-0003-2061-6657

ABSTRACT

The depth of a stiff underlying stratum can significantly influence the settlement behaviour of shallow foundations resting on soft soil. This study investigates the effect of a dense sand layer underlying soft clay on the settlement response of a strip footing using PLAXIS 2D. A 2 m wide footing subjected to a uniform vertical pressure of 100 kPa was modelled under plane-strain and drained conditions using the Mohr-Coulomb constitutive model. A homogeneous soft clay profile was considered as the reference case, while five layered profiles were analysed with soft clay thickness-to-footing width ratios, H/B , of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 3.0. Settlement, normalised settlement, settlement reduction, vertical displacement contours and plastic point distributions were evaluated. The homogeneous reference profile produced a settlement of 50.0 mm. When the stiff layer began at a depth corresponding to $H/B = 0.5$ below the footing base, the settlement decreased to 17.9 mm, representing a reduction of approximately 64%. As the depth of the stiff layer increased, the settlement progressively approached the homogeneous reference response, reaching 43.8 mm at $H/B = 3.0$. The vertical displacement contours and plastic point distributions further showed that a shallow stiff layer restricts the extent of the deformation zone and modifies the yielding pattern beneath the footing by limiting its lateral spread within the soft clay. For the soil properties and loading conditions considered, the results indicate that a stiff layer located within approximately one footing width below the footing base can substantially reduce settlement.

Keywords: Shallow foundation, settlement, layered soil, stiff layer, PLAXIS 2D, finite element analysis.

1. INTRODUCTION

Shallow foundations are commonly used to transfer structural loads to the ground when competent soil is available at a moderate depth. Their design is governed by two requirements, namely an adequate factor of safety against bearing capacity failure and a settlement that stays within tolerable limits [1]. In layered soil deposits, settlement prediction becomes more complex because soil properties may vary significantly with depth [2]. In many practical situations the settlement criterion controls the design, especially when the foundation rests on soft compressible clay. Reliable prediction of settlement is therefore an essential part of geotechnical design.

Natural ground is rarely homogeneous. Soft deposits are frequently underlain by denser and stiffer strata such as dense sand, gravel or weathered rock. When the stiff layer is located close to the foundation base, it restricts the depth of the stress influence zone and leads to lower settlement than that observed in a deep soft clay deposit. Several studies on layered or improved foundation soils have shown that layer thickness and soil properties, including stiffness and density, strongly influence the bearing capacity and load-settlement behaviour of shallow foundations [3-5].

Finite element analyses have become widely used for evaluating shallow foundation settlement and bearing capacity problems, particularly where soil layering, nonlinearity and boundary conditions cannot be represented adequately by simple closed-form solutions [6,7]. PLAXIS-based studies have shown that load-settlement response, stress distribution and deformation patterns can be examined in detail for shallow foundations under different soil and loading conditions [6,7]. Previous numerical studies have investigated foundation settlement in multi-layered soil profiles, the effect of partial soil replacement, and the influence of groundwater or saturation conditions on foundation performance [5-8].

Although the general effect of a stiff layer is well recognised, the quantitative relationship between the depth of the stiff layer and the resulting settlement reduction deserves further clarification for the common case of a strip footing on soft clay. The aim of this study is to quantify the influence of the depth of an underlying stiff layer on the settlement of a shallow strip foundation using a parametric PLAXIS 2D analysis. The depth of the stiff layer below the footing is expressed through the ratio H/B , where H is the thickness of the upper soft clay layer and B is the footing width. The maximum settlement, the normalised settlement, the settlement reduction ratio, the total displacement contours and the plastic point distribution are examined and discussed.

2. NUMERICAL MODELLING

2.1. Problem definition and analysis cases

The idealised soil profile, footing geometry and loading arrangement are shown in Figure 1. The problem considered is a 2 m wide strip footing resting on a soft clay layer underlain by dense sand, representing a stiffer underlying stratum. A uniform vertical pressure of 100 kPa

was applied over the footing width at the ground surface. Since the footing is idealised as a strip footing, a two-dimensional plane strain formulation is appropriate. The analyses were carried out using the Mohr-Coulomb constitutive model.

Six cases were analysed. The first is a reference case in which the soil profile consists of a homogeneous soft clay deposit with no stiff layer. In the remaining five cases a stiff layer is introduced at increasing depth below the footing, corresponding to depth ratios H/B of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 3.0. Since the footing width B is 2 m, these ratios correspond to soft clay thicknesses H of 1, 2, 3, 4 and 6 m. The analysis cases are summarised in Table 1.

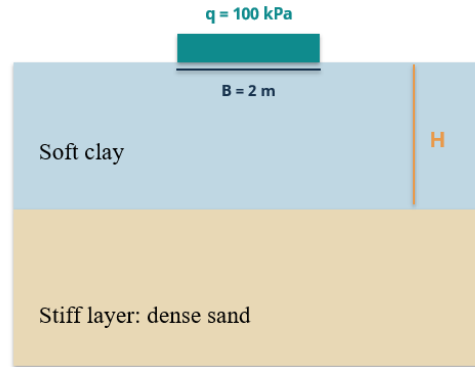


Figure 1. Idealised geometry and loading of the strip footing on soft clay underlain by dense sand.

Table 1. Analysis cases considered for different H/B ratios.

Case	H/B	H (m)	Description
1	Reference	-	Homogeneous soft clay profile without an underlying stiff layer.
2	0.5	1.0	The stiff layer is located very close to the foundation base.
3	1.0	2.0	The stiff layer is located at a shallow depth.
4	1.5	3.0	The stiff layer is located at an intermediate depth.
5	2.0	4.0	The influence of the stiff layer becomes less pronounced.
6	3.0	6.0	The response tends to approach that of a homogeneous soft clay profile.

2.2. Material parameters

The soil parameters adopted in the numerical model were selected as representative Mohr-Coulomb input values for an idealised soft clay layer underlain by a dense sand layer. These values were used for preliminary numerical modelling and are generally consistent with those reported in previous studies on soft clay and dense sand layers [5,9]. The upper layer represents a soft, compressible clay with a low stiffness, while the lower layer represents a much stiffer and stronger granular material. The complete set of parameters is given in Table 2.

Table 2. Material parameters used in the finite element model.

Soil	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	E (kPa)	c (kPa)	ϕ (°)	ν	Ψ (°)
Soft clay	17	19	6000	20	15	0.35	0
Dense sand	18	20	40000	5	36	0.30	5

2.3. Model setup and analysis procedure

The model dimensions and boundary conditions were selected following common PLAXIS 2D modelling practice for shallow foundation settlement analyses. A 20 m wide and 10 m deep soil domain was adopted to keep the lateral and lower boundaries sufficiently far from the footing influence zone. The geometry is consistent with the general approach reported by Hakro et al. [7] for the numerical analysis of shallow foundations. The soil behaviour was simulated using the Mohr-Coulomb constitutive model under drained conditions.

Standard fixities were assigned at the model boundaries, with the vertical sides restrained in the horizontal direction and the base fully fixed. Groundwater was not included, and dry conditions were assumed to keep the analysis simple and to isolate the effect of the stiff layer depth. The model geometry and finite element mesh for the homogeneous soft-clay reference case and the layered-soil case with the stiff layer located at $H = 1$ m below the footing base are shown in Figure 2.

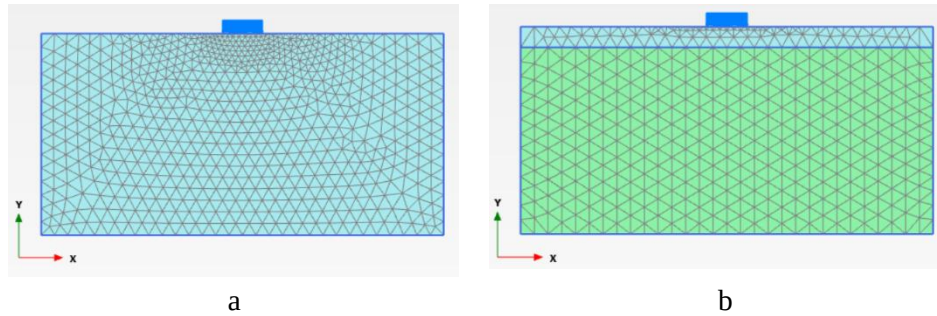


Figure 2. Model geometry and finite element mesh for: (a) the homogeneous soft-clay reference model; and (b) the layered-soil model with the stiff layer located at $H = 1$ m below the footing base.

The finite element mesh was generated using the very fine mesh option in PLAXIS 2D. For each case, the analysis followed the same calculation sequence. First, the initial stress state was established using the K_0 procedure. The footing pressure was then applied in a plastic calculation phase. The maximum vertical settlement beneath the footing, total displacement field and distribution of plastic points were extracted from the numerical output. For comparison, the settlement values were expressed as positive values in millimetres, and the normalised settlement ratio, $S_{\max}/B$, was calculated using the constant footing width of 2 m. The settlement reduction in each layered-soil case was also determined relative to the homogeneous soft-clay reference model.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Maximum settlement and the effect of stiff layer depth

The maximum vertical settlement ($S_{\max}$) obtained for each case is presented in Table 3 together with the normalised settlement ($S_{\max}/B$), and the settlement reduction relative to the reference case. The homogeneous reference profile produced the largest settlement of 50.0 mm. The introduction of a stiff layer reduced the settlement in every layered case, with greater reductions obtained as the stiff layer approached the footing base.

Table 3. Maximum vertical settlement and reduction ratios.

Case	H/B	H (m)	$S_{\max}$ (mm)	$S_{\max}/B$ (%)	Settlement reduction (%)
Reference	-	-	50.0	2.50	-
2	0.5	1.0	17.9	0.90	64.1
3	1.0	2.0	29.8	1.49	40.3
4	1.5	3.0	33.9	1.70	32.2
5	2.0	4.0	38.2	1.91	23.6
6	3.0	6.0	43.8	2.19	12.4

When the stiff layer was located at $H/B = 0.5$, corresponding to a depth of 1 m below the footing, the settlement decreased to 17.9 mm. This represents a reduction of approximately 64% relative to the reference case. As the stiff layer was moved deeper, the settlement increased to 29.8 mm at $H/B = 1.0$, 33.9 mm at $H/B = 1.5$, 38.2 mm at $H/B = 2.0$, and 43.8 mm at $H/B = 3.0$. The variation in maximum settlement with the depth ratio is shown in Figure 3. The dashed line represents the settlement obtained for the homogeneous soft-clay reference profile. At $H/B = 3.0$, the settlement approached the reference value, indicating that the influence of the stiff layer becomes relatively limited at greater depths.

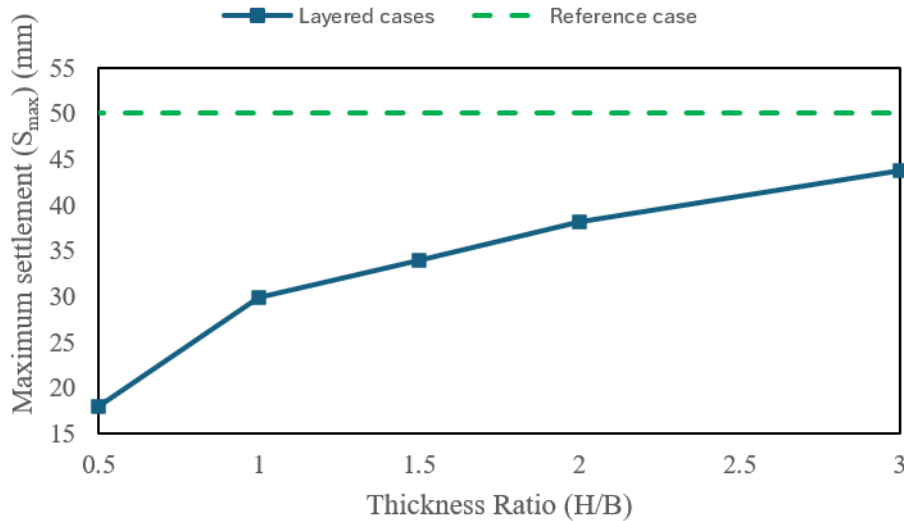


Figure 3. Variation of the maximum vertical settlement with the H/B ratio.

This behaviour can be explained by the extent of the stress influence zone beneath the footing. When the stiff layer lies within this zone, its greater stiffness limits the deformation of the overlying soft clay and results in smaller settlements. As the stiff layer is located deeper, a greater thickness of soft clay contributes to the deformation, and the settlement gradually approaches that of the homogeneous reference profile. This trend is consistent with previous findings for layered soils, which indicate that a shallow, high-stiffness stratum can substantially reduce foundation settlement [2,3].

The normalised settlement $S_{\max}/B$ provides a convenient dimensionless measure for comparison. It decreased from 2.50% for the reference case to 0.90% when the stiff layer was placed at H/B equal to 0.5 (Table 3). On the other hand, the settlement reduction was about

64% at H/B equal to 0.5, 40% at H/B equal to 1.0, 32% at H/B equal to 1.5, 24% at H/B equal to 2.0 and 12% at H/B equal to 3.0. This trend is plotted in Figure 4. For descriptive purposes, the influence of the stiff layer was qualitatively classified as strong for $H/B \leq 1.0$, moderate for $1.0 < H/B \leq 2.0$ and limited for $H/B > 2.0$. The greatest improvement in settlement performance was obtained when the stiff layer was located within approximately one footing width below the foundation base, whereas its influence diminished considerably beyond $H/B = 2.0$.

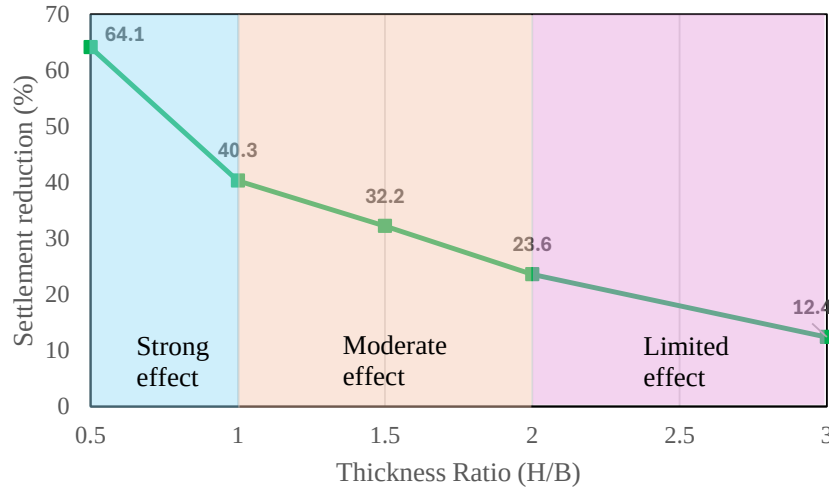


Figure 4. Settlement reduction relative to the homogeneous soft clay reference case.

3.2. Vertical displacement patterns and deformation-zone development

The vertical displacement contours obtained for the six analysis cases are presented in Figure 5. These contours provide a visual interpretation of the settlement results reported in Table 3 and further illustrate how the depth of the stiff layer affects the extent and distribution of deformation beneath the footing. To facilitate a direct qualitative comparison between the cases, the contour legend ranges were adjusted to be as consistent as practicable with that of the homogeneous reference model.

In the homogeneous soft-clay reference case, the vertical displacement zone forms a relatively broad pattern beneath the footing and extends to a considerable depth. This indicates that a large thickness of the soft clay participates in the deformation response. The largest displacements occur immediately beneath the footing and gradually decrease with both depth and lateral distance from the footing centreline.

When the stiff layer is located at $H/B = 0.5$, the displacement zone is strongly confined within the 1 m thick soft-clay layer above the dense sand. The shallow stiff layer restricts the downward propagation of deformation and reduces the volume of compressible soil contributing to the settlement. Consequently, the deformation is concentrated within a relatively limited region directly beneath the footing, which is consistent with the minimum settlement of 17.9 mm obtained for this case.

As the stiff layer is moved deeper to $H/B = 1.0$ and $H/B = 1.5$, the displacement zone progressively expands downwards and laterally. A greater thickness of soft clay is therefore involved in the deformation, resulting in an increase in maximum settlement. For $H/B = 2.0$ and $H/B = 3.0$, the displacement patterns become increasingly similar to that of the homogeneous reference case. In particular, at $H/B = 3.0$, the deformation extends through a substantial portion of the upper soft-clay layer before reaching the stiff stratum, and the resulting settlement approaches the reference value.

Overall, the displacement contours confirm that the effectiveness of the underlying stiff layer depends strongly on its position relative to the footing influence zone. A shallow stiff layer confines the deformation zone and substantially reduces settlement, whereas its influence diminishes as the layer depth increases. Similar numerical studies have shown that the presence, thickness and stiffness of a stronger layer beneath a shallow foundation can alter the deformation mechanism and significantly affect settlement propagation [10,11]. This progressive change in the displacement patterns is consistent with the settlement and settlement-reduction trends presented in Figures 3 and 4.

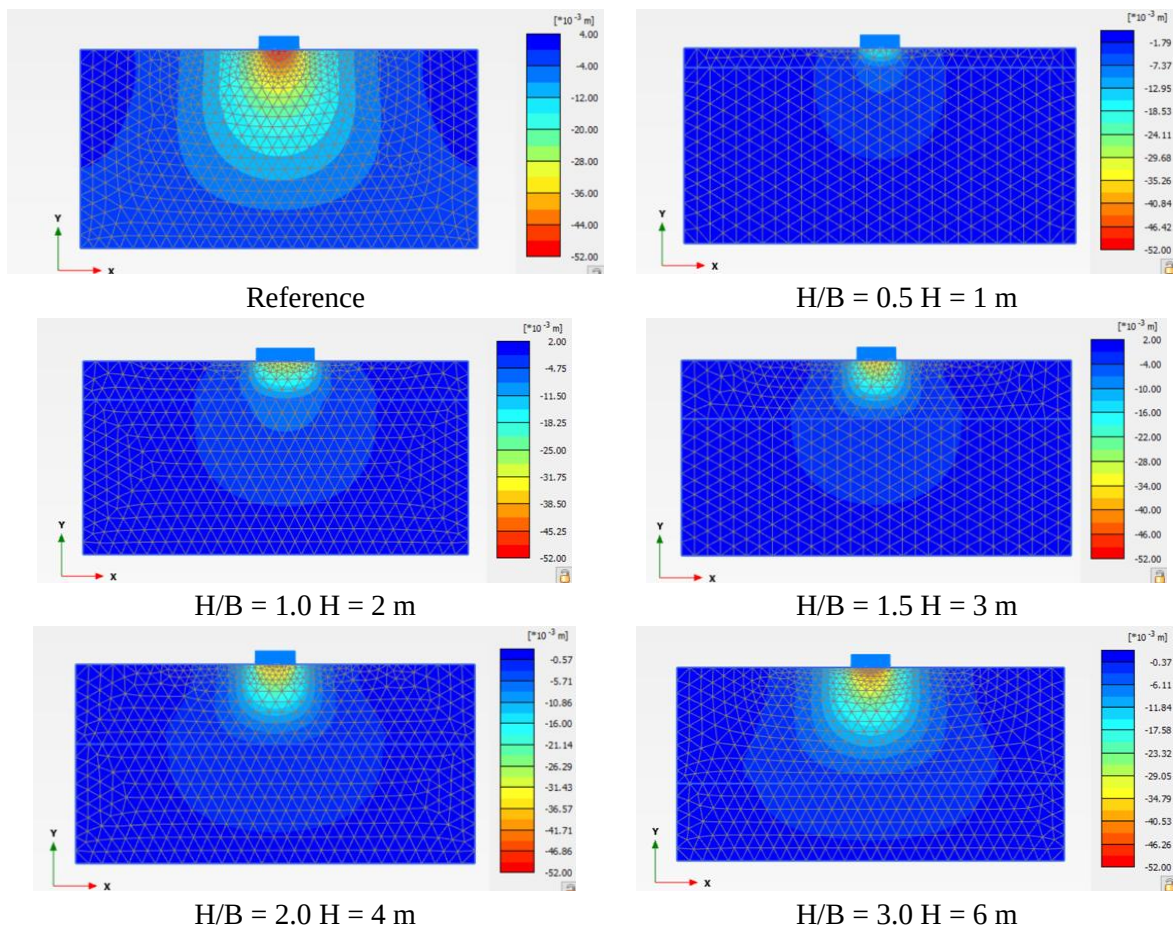


Figure 5. Vertical displacement contours for the homogeneous reference profile and the five stiff-layer depths.

3.3. Distribution of Mohr-Coulomb failure and tension cut-off points

To examine the yielding response of the soil, the distributions of Mohr-Coulomb failure and tension cut-off points were compared for the two contrasting cases: the homogeneous reference profile, which produced the largest settlement, and the layered profile with $H/B = 0.5$, which produced the smallest settlement. In the PLAXIS output, the red symbols represent failure points at which the stress state has reached the Mohr-Coulomb failure envelope, whereas the white symbols represent points at which the tension cut-off criterion has been activated [12]. These symbols identify the stress state at the integration points and should not be interpreted as a direct measure of displacement or the magnitude of accumulated plastic deformation. The corresponding distributions are presented in Figure 6.

In the homogeneous reference case, the red Mohr-Coulomb failure points form a relatively broad, bulb-shaped distribution beneath the footing, extending both downwards and laterally within the soft clay. This distribution indicates that a comparatively large region of the homogeneous clay is involved in the yielding response. The white tension cut-off points are mainly concentrated in the shallow region near the footing edges, where the low confinement allows the tensile stress limit to be reached locally.

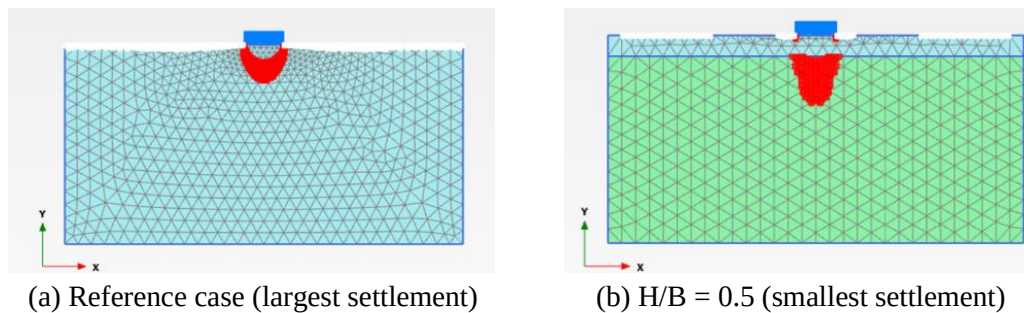


Figure 6. Distribution of Mohr-Coulomb failure and tension cut-off points for the cases producing the largest and smallest settlements.

For $H/B = 0.5$, the failure points within the upper soft-clay layer exhibit a more laterally confined distribution. However, a visibly greater concentration of red points develops beneath the footing and extends through the thin clay layer into the upper part of the underlying dense sand. This occurs because the shallow stiff layer carries a larger proportion of the applied load and is subjected more directly to the stresses transferred through the relatively thin soft-clay layer. Consequently, local stress concentrations may develop near the clay-sand interface and along the central loading axis, causing the stress state at several integration points within the dense sand to reach the Mohr-Coulomb failure envelope.

The high stiffness and lower compressibility of the dense sand limit the strains associated with these locally yielded points, while the reduced thickness of the overlying soft clay substantially decreases the overall compressible zone. Figure 6 therefore indicates that the shallow stiff layer modifies the yielding mechanism beneath the footing: lateral spreading within the soft clay is restricted, while the applied load is transferred more directly into a narrower and more vertically

oriented zone within the underlying dense sand. Similar finite-element studies have shown that a stronger granular layer beneath a footing can modify the load-transfer and failure mechanisms while reducing foundation settlement [11]. This redistribution is consistent with the considerably smaller settlement calculated for the $H/B = 0.5$ case.

3. CONCLUSIONS

A parametric two-dimensional finite element study was carried out with PLAXIS 2D to investigate the effect of the depth of an underlying stiff layer on the settlement of a shallow strip foundation resting on soft clay. The main conclusions are as follows:

- The presence of an underlying stiff layer reduces the settlement of the shallow foundation in all cases, and the reduction increases as the stiff layer approaches the foundation base.
- The maximum settlement decreased from 50.0 mm for the homogeneous reference profile to 17.9 mm when the stiff layer was placed at H/B equal to 0.5, which corresponds to a settlement reduction of about 64%.
- As H/B increased, the settlement response approached that of the homogeneous soft-clay profile, with the effect of the stiff layer becoming limited beyond a depth ratio of approximately two.
- The displacement contours and plastic-point distributions showed that a shallow stiff layer confines deformation to a more limited zone and restricts the lateral spread of yielding beneath the footing.
- For practical design, the results indicate that the depth of stiff strata should be identified during site investigation, because a stiff layer located within a depth approximately equal to the footing width below the foundation base can substantially reduce the expected settlement.

The present study was limited to a single footing width, a single load level and the Mohr-Coulomb model under dry, drained conditions. Further work could extend the analysis to different footing widths and load levels, to advanced soil models and to conditions that include groundwater and time-dependent consolidation.

REFERENCES

- [1] Das, B.M., Principles of Foundation Engineering, 8th ed., Cengage Learning, Boston, 2016.
- [2] Maheshwari, P. (2015). Settlement of shallow footings on layered soil: A state-of-the-art review. International Journal of Geotechnical Engineering, 9 (1), 42–48. <https://doi.org/10.1179/1939787914Y.00000000065>.
- [3] Mosallanezhad, M. and Moayedi, H. (2017). Comparison analysis of bearing capacity approaches for the strip footing on layered soils. Arabian Journal for Science and Engineering, 42, 3711–3722. <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2490-6>.

- [4] Bhardwaj, A. and Sharma, R. K. (2023). Bearing capacity evaluation of shallow foundations on stabilized layered soil using ABAQUS. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 45 (1), 55–71. <https://doi.org/10.2478/sgem-2022-0026>.
- [5] Mandeel, S. A. H., Al-Khalidi, E. E. and Hashim, A. H. (2024). Numerical analysis to study the effect of partial replacement on the bearing capacity of soft clay soil by using PLAXIS. *AIP Conference Proceedings*, 3079, 060032. <https://doi.org/10.1063/5.0202140>.
- [6] Kim, Y., Park, H. and Jeong, S. (2017). Settlement behavior of shallow foundations in unsaturated soils under rainfall. *Sustainability*, 9, 1417. <https://doi.org/10.3390/su9081417>.
- [7] Hakro, M. R., Kumar, A., Ali, M., Habib, A. F., de Azevedo, A. R. G., Fediuk, R., Sabri, M. M. S., Salmi, A. and Awad, Y. A. (2022). Numerical analysis of shallow foundations with varying loading and soil conditions. *Buildings*, 12, 693. <https://doi.org/10.3390/buildings12050693>.
- [8] Kuo, Y. L., Jaksa, M. B., Lyamin, A. V. and Kaggwa, W. S. (2004). A comparative theoretical and experimental analysis of settlements of shallow foundations on granular soil. *Proceedings of the 9th Australia New Zealand Conference on Geomechanics*, Auckland, New Zealand.
- [9] Abdel-Mohti, A. and Khodair, Y. (2014). Analytical investigation of pile and soil interaction in sand under axial and lateral loads. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 6, 54. <https://doi.org/10.1007/s40091-014-0054-5>.
- [10] Ebid, A. M., Onyelowe, K. C. and Salah, M. (2022). Load–settlement curve and subgrade reaction of strip footing on bi-layered soil using constitutive FEM–AI coupled techniques. *Designs*, 6, 104. <https://doi.org/10.3390/designs6060104>.
- [11] Karimi, B. (2023). Finite element modeling of a stone layer under a strip footing to estimate soil behavior and determine optimal stone layer width and depth. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 6 (1), 7–12. <https://doi.org/10.34088/kojose.1122420>.
- [12] Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S. and Swolfs, W. M. (2020). *PLAXIS 2D Reference Manual*. Bentley Systems, Delft.

DOĞA TEMELLİ TASARIM YAKLAŞIMLARI: ODAK NOKTALARI ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRMALI BİR İNCELEME

Arş. Gör. Dr., BURCU TANRIKUT

Altınbaş Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
burcu.tanrikut@altinbas.edu.tr - 0009-0007-7059-5221

ÖZET

Mimarlık ve iç mimarlık alanlarında doğa ile kurulan ilişki, günümüzde yalnızca biçimsel esinlenme düzeyinde ele alınmamakta; çevresel sürdürülebilirlik, ekolojik uyum, enerji, su ve malzeme verimliliği, kullanıcı sağlığı ve mekânsal deneyim bağlamlarında da değerlendirilmektedir. Bu nedenle doğa temelli tasarım yaklaşımlarında doğa; kimi zaman biçimsel bir kaynak, kimi zaman ekolojik bir sistem, kimi zaman ise kullanıcı deneyimini destekleyen bir unsur olarak yorumlanmaktadır. Bu çalışma, doğa temelli tasarım yaklaşımlarını temel odak noktaları bakımından karşılaştırmalı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada organik mimarlık, ekolojik tasarım, biyomimikri, Art Nouveau, yeşil tasarım, rejeneratif tasarım ve biyofilik tasarım başlıkları ele alınmıştır. Araştırma, literatür incelemesi ve seçilmiş yapı örneklerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesine dayalı nitel bir yaklaşımla kurgulanmıştır. Bu kapsamda her bir yaklaşım; temel amacı, doğayı ele alış biçimi, mekânsal karşılığı, kullanıcıyla kurduğu ilişki ve tasarım sürecindeki öncelikleri açısından incelenmiştir. Seçilen örnekler aracılığıyla, doğanın tasarım sürecinde kimi zaman çevreyle bütünleşme, kimi zaman enerji, su ve malzeme verimliliği, kimi zaman biçimsel esinlenme, kimi zaman ise insan ile doğa etkileşimini güçlendirme amacıyla ele alındığı görülmektedir. Çalışma sonucunda incelenen yaklaşımların birbirinin yerine kullanılabilecek kavramlar olmadığı; organik mimarlığın yapı-çevre bütünlüğüne, ekolojik ve yeşil tasarımın enerji, su ve malzeme verimliliği ile çevresel etkilere, biyomimikrinin doğadaki sistemlerden öğrenmeye, Art Nouveau'nun doğanın biçimsel yorumuna, rejeneratif tasarımın ekosistemi onarmaya, biyofilik tasarımın ise insanın doğayla kurduğu fiziksel, psikolojik ve duyuşsal ilişkiye odaklandığı görülmektedir. Bu bağlamda çalışma, doğa ile ilişki kuran tasarım yaklaşımlarının kavramsal sınırlarının belirginleştirilmesine ve tasarım sürecindeki farklı önceliklerinin değerlendirilmesine katkı sunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğa temelli tasarım, organik mimarlık, ekolojik tasarım, biyomimikri, rejeneratif tasarım

1. GİRİŞ

Mimarlık ve iç mimarlık alanlarında doğa ile kurulan ilişki, tarihsel süreç içinde değişen toplumsal, teknolojik ve çevresel koşullara bağlı olarak farklı anlamlar kazanmıştır. Doğa kimi dönemlerde bitkisel motifler, eğrisel çizgiler ve organik formlar aracılığıyla biçimsel bir esin kaynağı olarak değerlendirilmiş; kimi dönemlerde ise yapı üretiminin ekosistemle ilişkisi, kaynak kullanımı, enerji performansı, insan sağlığı ve kullanıcı deneyimi bağlamlarında tartışılmıştır. Bu nedenle doğa ile ilişkili tasarım yaklaşımlarını tek bir kavram altında açıklamak yerine, her bir yaklaşımın doğayı hangi önceliklerle tasarım sürecine dâhil ettiğini incelemek gerekmektedir.

Sürdürülebilirlik, yalnızca bugünü değil geleceği de gözeterik tasarım yapmayı ifade eder. Doğa temelli yaklaşımlar bu ortak bağlamı paylaşmakla birlikte, doğayı çevresel, biçimsel, ekolojik, sağlıksal ve deneyimsel odaklar üzerinden farklı biçimlerde yorumlamaktadır. Bu bağlamda doğa, bir yaklaşımda korunması gereken kaynak; başka bir yaklaşımda yapıyla bütünleşen çevre; bir diğesinde ise öğrenilen model, iyileştirilecek sistem ya da kullanıcı deneyiminin parçası olarak ele alınabilmektedir.

Doğa temelli tasarım yaklaşımları, mimarlık ve iç mimarlık literatüründe Art Nouveau, organik mimarlık, ekolojik tasarım, yeşil tasarım, biyomimikri, rejeneratif tasarım ve biyofilik tasarım gibi farklı başlıklar altında ele alınmaktadır. Bu yaklaşımlar arasında kesişimler bulunmakla birlikte, her biri doğaya farklı bir odak noktasından yaklaşmaktadır. Art Nouveau doğanın biçimsel ve dekoratif yorumunu; organik mimarlık yapı, iç mekân ve çevre bütünlüğünü; ekolojik tasarım ekosistemle uyumu; yeşil tasarım enerji, su ve malzeme performansını; biyomimikri doğadaki sistem ve süreçlerden öğrenmeyi; rejeneratif tasarım ekosistemlerin onarımını; biyofilik tasarım ise insanın doğayla kurduğu fiziksel, psikolojik ve duysal ilişkiyi merkeze almaktadır.

Bu çalışmanın amacı, doğa temelli tasarım yaklaşımlarını temel odak noktaları bakımından karşılaştırmalı olarak incelemektir. Çalışma, söz konusu yaklaşımların birbirinin yerine kullanılabilecek kavramlar olmadığını; doğayı ele alış biçimi, tasarım sürecindeki önceliği, mekânsal karşılığı ve kullanıcıyla kurduğu ilişki açısından farklılaştığını ortaya koymayı hedeflemektedir.

2. DOĞA İLE İLİŞKİ KURAN TASARIM YAKLAŞIMLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ

Doğanın mimarlık ve tasarım alanındaki etkisi, modern dönem öncesinden itibaren var olmakla birlikte, 19. yüzyıl sonu ve 20. yüzyıl boyunca farklı tasarım yaklaşımlarına dönüşmüştür. Art Nouveau yaklaşık 1890-1910 yılları arasında Avrupa ve Amerika’da gelişmiş; mimarlık, iç mekân, grafik tasarım ve dekoratif sanatlarda uzun, kıvrımlı ve organik çizgilerin kullanımıyla tanımlanmıştır (Britannica, 2026). Bu dönem, doğanın daha çok biçimsel ve stilize bir tasarım dili olarak yorumlandığı bir aşamayı temsil etmektedir.

20. yüzyıl başında Frank Lloyd Wright tarafından geliştirilen organik mimarlık düşüncesi, yapının bulunduğu çevre, malzeme, işlev ve iç mekân kurgusunun bütünlüklü biçimde ele alınmasını savunmuştur. Wright’ın organik mimarlık anlayışında yapı, çevresinden bağımsız

bir nesne olarak değil, bulunduğu yerin doğal ve yaşamsal koşullarıyla birlikte gelişen bir bütün olarak değerlendirilir (Wright, 1908). 1960 ve 1970’lerden itibaren çevresel krizler, enerji tartışmaları ve ekolojik farkındalık, ekolojik tasarım ve yeşil tasarım yaklaşımlarını güçlendirmiştir. Van der Ryn ve Cowan (1996), ekolojik tasarımı, tasarımın canlı süreçlerle bütünleşerek çevresel yıkıcı etkileri azaltması olarak tanımlar. Yeşil tasarım ise enerji ve su kullanımı, malzeme seçimi, atık yönetimi ve iç çevre kalitesi gibi performans başlıkları üzerinden kurumsallaşmış bir çerçeve kazanmıştır (U.S. Green Building Council, t.y.).

1990’larda Janine Benyus’un çalışmalarıyla popülerleşen biyomimikri, doğadaki biçimleri doğrudan kopyalamaktan çok canlı sistemlerin çözüm üretme mekanizmalarından öğrenmeye odaklanmıştır (Benyus, 1997). Aynı dönemde rejeneratif tasarım yaklaşımı, sürdürülebilirliğin “daha az zarar verme” hedefini aşarak ekosistemlerin onarımı ve yenilenmesine katkı sunan tasarım anlayışlarını gündeme taşımıştır (Lyle, 1994). 2000’li yıllarda ise biyofilik tasarım, insanın doğayla kurduğu içsel ilişkiyi yapısal çevreye aktarma amacıyla öne çıkmış; doğa ile temasın sağlık, iyi oluş, verimlilik ve duyuşal deneyim üzerindeki etkilerini tasarım sürecine dâhil etmiştir (Kellert, Heerwagen ve Mador, 2008; Browning, Ryan ve Clancy, 2014).

Tarihsel süreç içinde doğanın tasarımdaki rolü bu çerçevede değişmiştir. 1900’lerin başında doğa daha çok estetik ve biçimsel bir ilham kaynağı olarak ele alınırken, 1930’larda yapı-doğa bütünlüğü daha görünür hâle gelmiştir. 1960’lardan itibaren çevresel etkilerin azaltılması ve kaynak verimliliği önem kazanmış; daha güncel yaklaşımlarda ise doğa öğrenilen bir model, kullanıcı deneyiminin bir parçası ve hatta onarılması gereken bir sistem olarak değerlendirilmeye başlanmıştır.

Çizelge 1. Doğa temelli tasarım yaklaşımlarının dönemselsel gelişimi (Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır).

Dönem	Yaklaşım	Temel yönelim
1890-1910	Art Nouveau	Doğanın bitkisel, hayvansal ve organik formlarının stilize edilmesi
20. yüzyıl başı / 1930’lar	Organik Mimarlık	Yapı, iç mekân ve doğal çevre arasında bütünlük kurulması
1960-70’ler	Ekolojik Tasarım	Ekosistemle uyum ve çevresel etkilerin azaltılması
1970-90’lar	Yeşil Tasarım	Enerji, su ve malzeme verimliliğinin artırılması
1990’lar	Biyomimikri	Doğadaki sistem, süreç ve stratejilerden öğrenilmesi
1990’lar sonrası	Rejeneratif Tasarım	Ekosistemlerin onarılması ve yenilenmesinin desteklenmesi
2000’ler	Biyofilik Tasarım	İnsan-doğa ilişkisinin fiziksel, psikolojik ve duyuşal düzeyde güçlendirilmesi

3. YÖNTEM

Bu çalışma, nitel araştırma yaklaşımı kapsamında literatür incelemesi ve seçilmiş yapı örneklerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesine dayalı olarak kurgulanmıştır. Çalışmada öncelikle doğa ile ilişki kuran tasarım yaklaşımlarına ilişkin kavramsal literatür incelenmiş; ardından her bir yaklaşımı temsil edebilecek yapı örnekleri belirlenmiştir. Aynı bir kavramsal alt başlık oluşturmak yerine, yaklaşımların temel tanımları ve ayırt edici özellikleri seçilmiş örneklerin değerlendirme metinleri içinde ele alınmıştır. Bu düzenleme, bildirinin bütünlüğünü güçlendirmek ve örnekler aracılığıyla kavramların daha doğrudan okunmasını sağlamak amacıyla tercih edilmiştir.

Örnek seçiminde, yapıların ilgili yaklaşımın temel odağını görünür kılması, literatürde veya mesleki yayınlarda tartışılan örnekler arasında yer alması, bazı örneklerin ödül, yarışma başarısı, kültürel miras statüsü ya da mimarlık alanındaki tanınırlığıyla öne çıkması ve mimarlık/iç mimarlık bağlamında okunabilir tasarım kararları içermesi dikkate alınmıştır. Değerlendirme ölçütleri; yaklaşımın temel amacı, doğayı ele alış biçimi, mekânsal karşılığı, kullanıcıyla kurduğu ilişki ve tasarım sürecindeki öncelikleri olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan çizelgeler, literatürden elde edilen bilgiler doğrultusunda yazar tarafından hazırlanmıştır. Seçilmiş örneklerin görsel okumalarını desteklemek amacıyla, ilgili kaynaklarda yer alan fotoğraflar kolaj biçiminde düzenlenmiş ve her görselin altında yararlanılan kaynak belirtilmiştir.

4. SEÇİLMİŞ ÖRNEKLER ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRME

4.1. Art Nouveau ve Biyomorfik Biçimlenme Örneği: Casa Batllo, İspanya

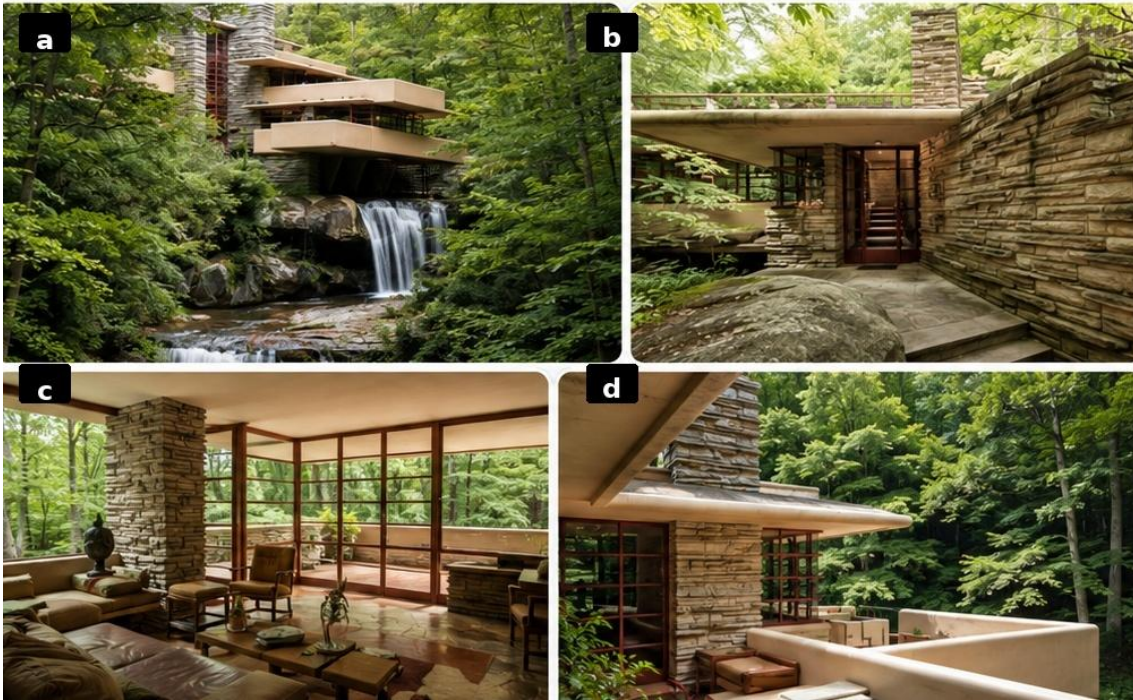


Görsel 1. Casa Batllo örneğinde Art Nouveau ve biyomorfik biçimlenme: (a) cephede organik yüzey, balkon ve renk kullanımı, (b) çatı formunda kabuksu ve dalgalı biçimlenme, (c) iç mekânda akışkan yüzey ve kavisli geçişler, (d) renkli cam ve kıvrımlı doğrama düzeni.

Kaynak: Casa Batllo, t.y.-a; Casa Batllo, t.y.-b; Britannica, 2026'dan yararlanılarak yazar tarafından düzenlenmiştir.

Art Nouveau, doğayı ekolojik bir sistem ya da teknik performans problemi olarak değil, biçimsel ve estetik bir ilham kaynağı olarak yorumlayan bir tasarım yaklaşımıdır. Antoni Gaudí tarafından Barselona'da yeniden tasarlanan Casa Batllo, bu yaklaşımın mimarlık ve iç mekân dilindeki güçlü örneklerinden biridir. Art Nouveau'nun uzun, kıvrımlı ve organik çizgilerle karakterize olduğu belirtilmektedir (Britannica, 2026). Casa Batllo'da düz ve sert çizgiler yerine kavisli, akışkan ve asimetrik yüzeyler kullanılmış; cephe, çatı ve iç mekân kurgusu doğadan esinlenen organik çağrışımlar üzerinden biçimlenmiştir. Cephedeki balkon korkulukları maske ya da kafatasını; pencere çevreleri ve sütunlar ise insan veya hayvan iskeletini çağrıştıran organik biçimleri anımsatmaktadır. Dalgalı cephe yüzeyi ve kabuksu çatı formu deniz hareketi, canlı organizma ve doğal yüzey etkileriyle ilişkilendirilebilmektedir. Bunun yanında seramik mozaikler, renkli camlar, dövme demir detaylar ve ahşap işçiliği yapının estetik kimliğini oluşturan temel unsurlardır. Casa Batllo'nun ana katına ilişkin açıklamalarda doğadan alınan esinlere dikkat çekilirken, iç mekân anlatımlarında yapının akışkan yüzeyleri, kıvrımlı geçişleri ve organik mekânsal dili vurgulanmaktadır (Casa Batllo, t.y.-a; Casa Batllo, t.y.-b). Casa Batllo'nun UNESCO Dünya Mirası kapsamındaki Gaudí eserleri arasında yer alması ve restorasyon sürecinin Avrupa kültürel miras alanında ödüllendirilmiş olması, yapının mimarlık ve kültürel miras açısından öne çıkan konumunu güçlendirmektedir (UNESCO World Heritage Centre, t.y.-a; European Heritage Awards, t.y.). Bu örnekte doğa, yapının çevresel performansını belirleyen bir sistem olmaktan çok, sanat ile zanaatın birleştiği estetik, sembolik ve atmosferik bir tasarım kaynağı olarak değerlendirilebilir.

4.2. Organik Mimarlık Örneği: Fallingwater, ABD



Görsel 2. Fallingwater örneğinde organik mimarlık yaklaşımı: (a) yapının şelale ve doğal topoğrafya ile bütünleşmesi, (b) taş duvarlar ve yatay kütle organizasyonu, (c) iç mekânda doğal malzeme kullanımı ve dış çevreyle görsel ilişki, (d) teras mekânı üzerinden iç-dış sürekliliğinin kurulması.

Kaynak: Fallingwater, t.y.’den yararlanılarak yazar tarafından düzenlenmiştir.

Organik mimarlık, yapının bulunduğu çevre, malzeme, iç mekân ve işlevsel kurgu ile bütünlük içinde ele alınmasını savunan bir yaklaşımdır. Frank Lloyd Wright tarafından 1935 yılında tasarlanan Fallingwater, bu yaklaşımın en bilinen örneklerinden biridir. Yapı, doğanın içine yerleşen bağımsız bir nesne gibi değil, doğanın bir uzantısı olacak şekilde kurgulanmıştır. Burada amaç doğayı biçimsel olarak taklit etmek değil, yapıyı bulunduğu araziyle bütünleştirmektir. Evin şelalenin yanına değil, doğrudan üzerine konumlandırılması; şelalenin sesi, manzarası ve hareketini yapının mekânsal deneyiminin parçası hâline getirir. Fallingwater’ın resmi tanıtımında yapı, organik mimarlığın bir özeti olarak değerlendirilmekte; bina, iç mekân elemanları ve doğal çevrenin birbirine bağlı bir kompozisyon oluşturduğu vurgulanmaktadır (Fallingwater, t.y.). Yapıda çevreden elde edilen doğal taşların kullanılması, iç ve dış mekân arasındaki sürekliliği güçlendirir. Doğal kaya dokusunun tasarımın bir parçası olarak korunması ve oturma odasındaki kaya çıkıntısının mekân içinde bırakılması, doğanın yalnızca dışarıda izlenen bir peyzaj olarak değil, iç mekân kurgusuna katılan bir unsur olarak ele alındığını gösterir. Şelale üzerinde uzanan konsol teraslar ise yapının doğal topoğrafyayla bütünleşmesini ve suyla güçlü bir görsel ilişki kurmasını sağlar. Fallingwater’ın Amerikan Mimarlık Enstitüsü üyeleri tarafından “Amerikan mimarlığının tüm zamanlardaki en iyi eseri” olarak değerlendirilmesi ve UNESCO Dünya Mirası kapsamındaki Frank Lloyd Wright yapıları arasında yer alması, yapının mimarlık tarihi içindeki güçlü konumunu desteklemektedir (Fallingwater, t.y.; UNESCO World Heritage Centre, t.y.-b). Bu nedenle Fallingwater, organik mimarlıkta yapı, malzeme ve doğanın bütünleştiği önemli bir örnek olarak değerlendirilebilir.

4.3. Ekolojik Tasarım Örneği: Ekolojik Villa, Morityus



Görsel 3. Ekolojik Villa örneğinde ekolojik tasarım yaklaşımı: (a) yapının doğal çevre ve yerel peyzajla ilişkisi, (b) gölgeleme sağlayan geniş saçaklar ve açık yaşam alanları, (c) doğal havalandırmayı destekleyen geçirgen mekân kurgusu, (d) yerel malzeme ve iklimsel uyuma dayalı cephe düzeni.

Kaynak: Foster + Partners, t.y.’den yararlanılarak yazar tarafından düzenlenmiştir.

Ekolojik tasarım, yapı ve çevre ilişkisinin ekosistem bütünlüğü içinde değerlendirilmesine dayanır. Bu yaklaşım yerel iklim, topoğrafya, su döngüsü, bitki örtüsü ve doğal hava hareketleri gibi ekosistemin işleyişini tasarım kararlarına dâhil eder; başka bir ifadeyle doğanın işleyiş biçimini tasarımın merkezine yerleştirir. Foster + Partners tarafından Morityus’ta geliştirilen Ekolojik Villa, ekolojik tasarımın yerel iklim, doğal hava hareketleri, topoğrafya, malzeme ve su döngüsüyle ilişkilenen bir örneği olarak değerlendirilebilir. Projede araziden çıkarılan doğal malzemeler ve sürdürülebilir ahşap kullanımı, yapının bulunduğu çevreyle bütünleşmesini desteklemektedir. Kavisli çatı formu ve geniş saçaklar tropikal iklim koşullarına yanıt verirken, doğal havalandırma ve gölgeleme stratejileri mekanik iklimlendirme ihtiyacını azaltmayı amaçlamaktadır. Çatıya entegre edilen güneş panelleri yenilenebilir enerji üretimine, dalgalı çatı yüzeyi ise yağmur suyu hasadına olanak tanımaktadır (Foster + Partners, t.y.). Proje ölçeğinde elektrikli araç kullanımına yer verilmesi de karbon salımını azaltmaya yönelik bütüncül ekolojik yaklaşımı desteklemektedir. Bu bağlamda örnek, doğayı yalnızca görsel bir arka plan olarak değil, tasarım kararlarını yönlendiren işleyen bir ekosistem olarak ele almaktadır.

4.4. Yeşil Tasarım Örneği: K2 Apartmanları, Melbourne, Avustralya

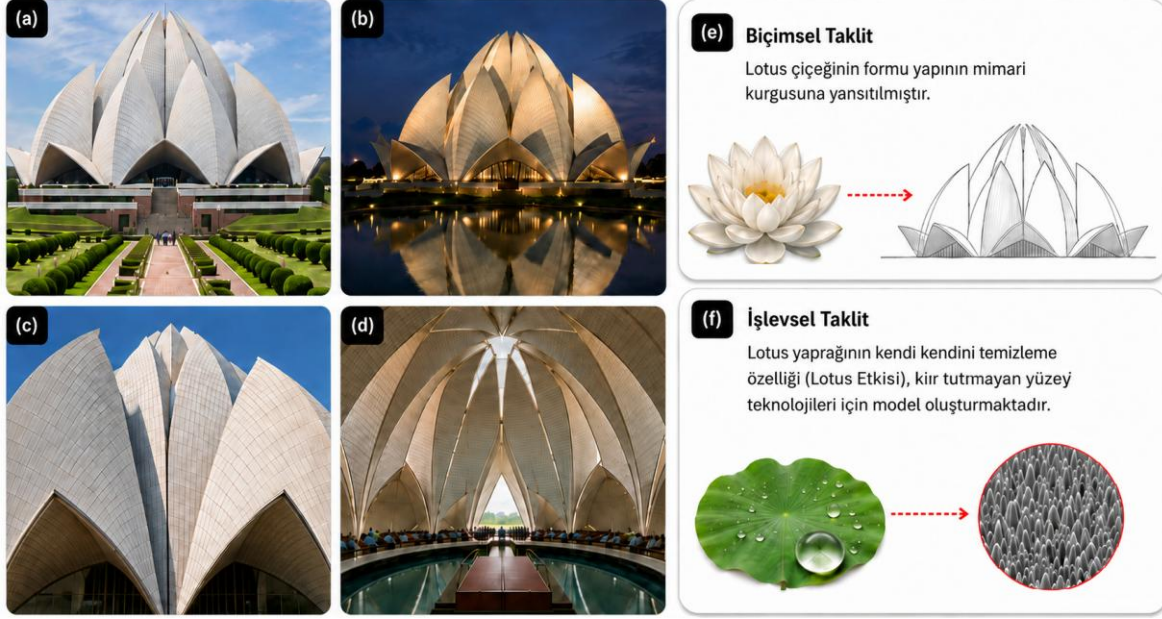


Görsel 4. K2 Apartmanları örneğinde yeşil tasarım yaklaşımı: (a) güneş panelleri ve çatı düzleminde enerji üretimi, (b) cephede gölgeleme ve bitkilendirme kullanımı, (c) ortak açık alan ve peyzajla ilişki, (d) yeşil cephe, doğal havalandırma ve kent manzarası ilişkisi.

Kaynak: DesignInc, t.y.’den yararlanılarak yazar tarafından düzenlenmiştir.

Yeşil tasarım, yapı üretim ve kullanım süreçlerinde çevreye verilen zararı ve kaynak tüketimini en aza indirmeyi hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, doğayla ilişkisini çoğunlukla enerji, su, malzeme, atık yönetimi ve iç çevre kalitesi gibi ölçülebilir performans başlıkları üzerinden kurar. Melbourne’de DesignInc tarafından tasarlanan K2 Apartmanları, yeşil tasarımın enerji, su, malzeme ve iç çevre kalitesi açısından okunabileceği bir konut örneğidir. Dört adet birbirine bağlı yapının doğu-batı aksında konumlandırılması, kışın güneş ışığından yararlanmayı, yazın ise gölgeleme yoluyla ısı kazancını sınırlamayı amaçlamaktadır. Gölgeleme elemanları ve çapraz havalandırma kullanımı pasif iklimlendirme stratejilerini destekler. Çatılardaki fotovoltaik paneller ve güneş kolektörleri elektrik ve sıcak su üretimine katkı sağlarken, yağmur suyu toplama sistemleri su verimliliğini güçlendirmektedir. İç mekânda düşük uçucu organik bileşen değerine sahip, insan sağlığına ve iç hava kalitesine zarar vermeyen doğal, dönüştürülmüş ve yeşil sertifikalı malzemelerin kullanılması sağlıklı iç mekân kalitesini desteklemektedir. DesignInc’in proje açıklamasında, K2 Apartmanları’nın geleneksel bir apartmana kıyasla %55 daha az şebeke elektriği, %46 daha az şebeke gazı ve %53 daha az su tüketimi sağladığı belirtilmektedir (DesignInc, t.y.). Bu nedenle yapı, doğayla ilişkisini ağırlıklı olarak kaynak verimliliği ve çevresel etki azaltımı üzerinden kurmaktadır.

4.5. Biyomimikri Örneği: Lotus Tapınağı, Yeni Delhi, Hindistan



Görsel 5. Lotus Tapınağı örneğinde biyomimikri yaklaşımı: (a) lotus çiçeğini çağrıştıran genel yapı formu, (b) aydınlatma ve su yüzeyiyle güçlenen yapının gece görünümü, (c) cephe kabuğunda lotus yaprağını anımsatan yüzey düzeni, (d) iç mekânda taç yaprak benzeri kabuk organizasyonu, (e) biçimsel taklit şeması, (f) işlevsel taklit ve lotus etkisi şeması.

Kaynak: Rizor, 2011; AskNature, 2020; Barthlott ve Neinhuis, 1997'den yararlanılarak yazar tarafından düzenlenmiştir.

Biyomimikri, doğadaki canlı sistemlerin uzun evrimsel süreçler içinde geliştirdiği çözüm stratejilerini inceleyerek tasarım problemlerine uyarlamayı amaçlar. Bu nedenle biyomimikri yalnızca doğadaki bir formun görsel olarak taklit edilmesiyle sınırlı değildir; canlıların işleyiş mekanizmalarını, malzeme davranışlarını ve adaptasyon stratejilerini anlamayı da içerir. Fariborz Sahba tarafından Yeni Delhi'de tasarlanan Lotus Tapınağı, biyomimikri yaklaşımının biçimsel ve işlevsel boyutlarını birlikte okunabilir kılan bir örnektir. Yapının mimari kurgusunda lotus çiçeğinin açılan yaprak formu belirgin biçimde kullanılmış; bu durum doğadaki bir formun mimari kabuğa aktarılmasını sağlamıştır. Bu açıdan yapı, lotus çiçeğinin biçimsel özelliklerini mimari dile taşıyan bir biçimsel taklit örneği olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte biyomimikrinin işlevsel boyutu, lotus yaprağının mikroskobik yüzey yapısından kaynaklanan kendi kendini temizleme etkisi üzerinden okunabilir. Lotus yapraklarının su ve kir parçacıklarını yüzeyden uzaklaştıran bu özellik, doğadaki yüzey stratejilerinin tasarım için nasıl model oluşturabileceğini göstermektedir. Bu nedenle Lotus Tapınağı, bir yandan lotus formunun mimari temsili, diğer yandan lotus etkisi üzerinden doğadan öğrenme düşüncesini görünür kılan bir biyomimikri örneğidir.

4.6. Rejeneratif Tasarım Örneği: Palazzo Italia, Milano, İtalya



Görsel 6. Palazzo Italia örneğinde rejeneratif tasarım yaklaşımı: (a) dallanan cephe kurgusu ve yapı kabuğu, (b) iç mekânda ışık, geçirgenlik ve bitkilendirme ilişkisi, (c) doğadan esinlenen taşıyıcı/cephe sistemi ayrıntısı, (d) çatı düzleminde enerji üretimi ve yeşil alan kullanımı.

Kaynak: Nemesi Architects, t.y.; Heidelberg Materials, t.y.; World-Architects, t.y.’den yararlanılarak yazar tarafından düzenlenmiştir.

Rejeneratif tasarım, sürdürülebilirlik anlayışını çevresel zararı azaltma sınırının ötesine taşıyan bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, yapıların yalnızca çevreye daha az zarar vermesini değil, bulunduğu ekosistemi aktif olarak iyileştirmesini ve onarmasını hedefler. Nemesi & Partners tarafından Expo Milano 2015 için tasarlanan Palazzo Italia, bu anlayışın çevresel etkiyi azaltmanın ötesinde aktif iyileştirme ve onarım hedefleriyle ilişkilendirilebileceği bir örnektir. Yapının cephesinde kullanılan titanyum dioksit içeren özel çimento, güneş ışığıyla etkileşime girerek havadaki bazı kirleticilerin parçalanmasına katkı sağlamaktadır (Heidelberg Materials, t.y.). Cephe malzemesinde geri dönüştürülmüş Carrara mermeri gibi atık malzemelerin kullanılması döngüsel malzeme yaklaşımını desteklemektedir. Çatı yüzeyindeki güneş panelleri enerji üretimine katkı sağlarken, dallanan cephe kurgusu doğadaki ağaç ve organizma imgelerinden esinlenen bir yapı kabuğu oluşturur (Nemesi Architects, t.y.; World-Architects, t.y.). Bu dallanan yüzey, havayla temas eden alanı artırarak cephe malzemesinin hava temizleyici işlevini görünür kılar. Palazzo Italia’nın Expo Milano 2015 için düzenlenen uluslararası yarışmada seçilen proje olması, yapının rejeneratif tasarım yaklaşımı açısından temsil gücünü desteklemektedir. Bu bağlamda Palazzo Italia, doğayı yalnızca korunması gereken bir kaynak olarak değil, iyileştirilecek ve yeniden canlandırılacak bir sistem olarak ele alan rejeneratif yaklaşımı temsil etmektedir.

4.7. Biyofilik Tasarım Örneği: De Verwondering İlkokulu, Almere, Hollanda



Görsel 7. De Verwondering İlkokulu örneğinde biyofilik tasarım öğeleri: (a) doğal malzeme kullanımı ve yapı-doğa ilişkisi, (b) ahşap strüktür, gün ışığı ve ortak öğrenme alanı, (c) açık alan, bitki kullanımı ve keşif odaklı öğrenme çevresi, (d) doğayla etkileşim ve deneyimsel öğrenme.

Kaynak: ORGA Architect, t.y.; Journal of Biophilic Design, 2024'ten yararlanılarak yazar tarafından düzenlenmiştir.

Biyofilik tasarım, insanın doğa ile kurduğu içsel ilişkiyi yapısal çevreye aktarmayı amaçlayan bir tasarım yaklaşımıdır. Bu yönüyle doğayı yalnızca çevresel performans ya da biçimsel esinlenme bağlamında değil, kullanıcı sağlığı, psikolojik iyi oluş, duysal deneyim ve mekânsal aidiyet açısından ele alır. De Verwondering İlkokulu, biyofilik tasarımın eğitim mekânı bağlamında okunabileceği güncel örneklerden biridir. Hollanda'nın Almere kentinde ORGA Architect tarafından tasarlanan yapı; doğal malzeme kullanımı, gün ışığı, geniş açıklıklar, iç-dış mekân ilişkisi, yeşil alanlarla bağlantı, doğal havalandırma, bitkilendirme ve çocuk ölçeğine duyarlı öğrenme çevresiyle öne çıkmaktadır. ORGA Architect, okulun iç ve dış mekânlarının çocukları doğayla yeniden ilişkilendirmeyi amaçladığını; yapının ekotop, habitat ve biyotop kavramları üzerinden kurgulandığını belirtmektedir (ORGA Architect, t.y.). Journal of Biophilic Design'da yayımlanan değerlendirmede, De Verwondering'in çocukların doğayla bağ kurmasını destekleyen bir öğrenme çevresi sunduğu ifade edilmektedir (Journal of Biophilic Design, 2024). Bu örnekte geniş pencereler gün ışığı ve dış çevreyle görsel bağlantı sağlarken, temiz hava, doğal kokular, açık alan bağlantısı, iç mekân bitkileri, bahçe, yeşil çatı, ahşap yüzeyler ve organik formlar doğayı eğitim mekânının gündelik deneyimine dâhil eder. De Verwondering İlkokulu'nun 2023 Stephen R. Kellert Biophilic Design Award kapsamında ödüllendirilmesi, yapının biyofilik tasarım ilkeleri açısından güçlü bir örnek olarak

değerlendirilmesini desteklemektedir. Bu nedenle yapı, yalnızca çevresel performansa değil, çocukların iyi olma hâline, dikkatine, merak duygusuna ve öğrenme deneyimine de odaklanan bütüncül bir biyofilik tasarım örneği olarak değerlendirilebilir.

Çizelge 2. Seçilmiş örneklerin temsil ettiği tasarım yaklaşımları (Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır).

Yaklaşım	Örnek	Doğayı ele alış biçimi	Öne çıkan odak
Art Nouveau / Biyomorfik biçimlenme	Casa Batllo	Organik form, kıvrımlı çizgiler, renk, süsleme ve doğal motiflerin estetik yorumu	Biçimsel esinlenme
Organik Mimarlık	Fallingwater	Doğal çevreyle bütünleşen yapı, malzeme, iç mekân ve topoğrafya ilişkisi	Yapı-çevre bütünlüğü
Ekolojik Tasarım	Ekolojik Villa	Yerel iklim, doğal havalandırma, yenilenebilir enerji, yerel malzeme ve yağmur suyu döngüsüyle ilişkilenen ekolojik kurgu	Ekosistemle uyum
Yeşil Tasarım	K2 Apartmanları	Pasif güneş, doğal havalandırma, yenilenebilir enerji, su verimliliği ve sağlıklı malzeme kullanımı	Kaynak verimliliği
Biyomimikri	Lotus Tapınağı	Lotus çiçeğinin formu ve lotus yaprağının kendi kendini temizleme etkisi üzerinden doğadan öğrenme	Biçimsel ve işlevsel taklit
Rejeneratif Tasarım	Palazzo Italia	Hava temizleyen cephe, geri dönüştürülmüş malzeme, enerji üretimi ve doğadan esinlenen cephe kurgusu	Ekosistem onarımı
Biyofilik Tasarım	De Verwondering İlkokulu	Doğal malzeme, gün ışığı, iç-dış mekân ilişkisi ve öğrenme deneyimiyle bütünleşen doğa	İnsan-doğa ilişkisi

5. KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME

İncelenen yaklaşımlar birlikte değerlendirildiğinde, doğa ile ilişki kuran tasarım anlayışlarının aynı kavramsal zeminde toplanmakla birlikte farklı önceliklere sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle söz konusu yaklaşımlar, doğayı tasarıma dâhil etme biçimleri üzerinden karşılaştırılmalıdır. Doğa, Art Nouveau ve biyomorfik biçimlenmede daha çok biçimsel ve estetik bir kaynak olarak öne çıkarken; organik mimarlıkta yapı ve çevre bütünlüğünün kurucu unsuru hâline gelmektedir. Ekolojik tasarım ve yeşil tasarımda doğa, ekosistemle uyum, kaynak kullanımı ve çevresel performans üzerinden değerlendirilirken; biyomimikride doğa, sistemleri ve işleyiş prensipleriyle öğrenilecek bir model olarak ele alınmaktadır. Rejeneratif tasarım,

doğa ile ilişkiyi ekosistemin onarımı ve yenilenmesi üzerinden kurarken; biyofilik tasarım, insanın doğayla kurduğu fiziksel, psikolojik ve duysal ilişkiyi merkeze almaktadır.

Bu farklılaşma, yaklaşımların birbirinden tamamen bağımsız olduğu anlamına gelmemektedir. Örneğin bir yapı hem yeşil tasarım ilkeleri doğrultusunda enerji ve su verimliliğine sahip olabilir, hem de biyofilik tasarım aracılığıyla kullanıcıların doğayla daha güçlü bir ilişki kurmasını sağlayabilir. Benzer biçimde rejeneratif tasarım, ekolojik tasarım ve yeşil tasarımın bazı ilkelerini içerebilir; ancak temel hedefi çevresel zararın azaltılmasından daha ileri giderek ekolojik sistemleri güçlendirmektir. Bu nedenle karşılaştırmalı değerlendirme, yaklaşımları kesin sınırlarla ayırmaktan çok, baskın tasarım odaklarını görünür kılmayı amaçlamaktadır.

**Çizelge 3. Odak noktalarına göre doğa temelli tasarım yaklaşımlarının karşılaştırılması
(Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır).**

Odak noktası	İlişkili yaklaşımlar	Açıklama
Doğanın biçimsel ve görsel yorumu	Art Nouveau, biyomorfik biçimlenme, organik mimarlık	Doğadaki bitkisel, hayvansal, eğrisel ve organik formların tasarım diline aktarılması
Yapı-çevre bütünlüğü	Organik mimarlık, ekolojik tasarım	Yapının bulunduğu doğal çevreyle biçimsel, işlevsel ve mekânsal bütünlük kurması
Ekosistemle uyum ve çevresel duyarlılık	Ekolojik tasarım, yeşil tasarım	Yapı üretimi ve kullanımında doğal çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmaya odaklanması
Enerji, su ve malzeme verimliliği	Yeşil tasarım, ekolojik tasarım	Kaynak kullanımını azaltmak, enerji performansını artırmak ve çevresel etkiyi sınırlamak
Doğadaki sistemlerden öğrenme	Biyomimikri	Canlı sistemlerin, süreçlerin ve çözüm üretme mekanizmalarının tasarıma uyarlanması
İnsan sağlığı ve konforu	Yeşil tasarım, ekolojik tasarım, biyofilik tasarım	Sağlıklı malzeme, temiz hava, gün ışığı, termal konfor ve doğal çevreyle ilişki kurulması
Psikolojik iyi oluş ve duysal deneyim	Biyofilik tasarım	İnsan-doğa ilişkisinin fiziksel, psikolojik ve duysal deneyim üzerinden mekâna taşınması
Ekosistemin onarımı ve yenilenmesi	Rejeneratif tasarım	Tasarımın yalnızca çevreye daha az zarar vermesini değil, doğal sistemleri iyileştirmeyi hedeflemesi

6. SONUÇ

Bu çalışma, doğa ile ilişki kuran tasarım yaklaşımlarının aynı anlama gelen kavramlar olmadığını; her birinin doğayı farklı bir tasarım odağı üzerinden yorumladığını ortaya koymaktadır. Art Nouveau ve biyomorfik biçimlenme, doğanın görsel ve biçimsel özelliklerini tasarım diline aktarırken; organik mimarlık, yapı ve doğal çevre arasındaki bütünlüğe odaklanmaktadır. Ekolojik tasarım, yapıyı çevrenin ekosistemle uyumlu biçimde kurgulanmasını önemserken; yeşil tasarım, enerji, su ve malzeme verimliliği ile çevresel etkilerin azaltılmasına ağırlık vermektedir. Biyomimikri, doğadaki sistem ve süreçlerden öğrenerek tasarım çözümleri geliştirmeyi amaçlamakta; rejeneratif tasarım, ekosistemlerin onarımı ve yenilenmesine katkı sağlayan bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Biyofilik tasarım ise insanın doğayla kurduğu fiziksel, psikolojik ve duyuşsal ilişkiyi mekân deneyiminin merkezine yerleştirmektedir.

Sonuç olarak doğa temelli tasarım yaklaşımlarının karşılaştırmalı biçimde ele alınması, tasarım sürecinde hangi yaklaşımın hangi soruya yanıt verdiğinin daha açık biçimde anlaşılmasını sağlamaktadır. Yaklaşımlar kesişir; ancak aynı değildir. Ortak zemin doğadır; farklılık temel tasarım önceliğinde ortaya çıkar. Doğa yaklaşımına göre kaynak, model, ekosistem, ilham ya da deneyim unsuru olarak değerlendirilebilir. Bu durum, mimarlık ve iç mimarlık uygulamalarında yalnızca doğayı çağrıştıran formlar üretmenin yeterli olmadığını; çevresel performans, ekolojik uyum, kullanıcı sağlığı, duyuşsal deneyim ve ekosistem onarımı gibi farklı önceliklerin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Gelecek çalışmalarda bu yaklaşımların seçilmiş yapı türleri, kullanıcı grupları ya da yerel bağlamlar üzerinden daha ayrıntılı biçimde incelenmesi, doğa ile ilişki kuran tasarım anlayışlarının mimarlık ve iç mimarlık alanındaki karşılıklarının daha kapsamlı biçimde tartışılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

AskNature. (2020). *Surface allows self-cleaning*. <https://asknature.org/strategy/surface-allows-self-cleaning/> (Erişim tarihi: 10.06.2026).

Barthlott, W. ve Neinhuis, C. (1997). Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces. *Planta*, 202, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s004250050096>

Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. William Morrow.

Britannica. (2026). *Art Nouveau*. Encyclopaedia Britannica. <https://www.britannica.com/art/Art-Nouveau> (Erişim tarihi: 10.06.2026).

Browning, W. D., Ryan, C. O. ve Clancy, J. O. (2014). *14 patterns of biophilic design: Improving health and well-being in the built environment*. Terrapin Bright Green. <https://www.terrapinbrightgreen.com/reports/14-patterns/> (Erişim tarihi: 10.06.2026).

Casa Batllo. (t.y.-a). *Biomimetics on the main floor of Casa Batllo*. <https://www.casabatllo.es/en/news/biomimetics-on-the-main-floor-of-casa-batllo/> (Erişim tarihi: 07.06.2026).

Casa Batllo. (t.y.-b). *The interior*. <https://www.casabatllo.es/en/antoni-gaudi/casa-batllo/inside/> (Erişim tarihi: 08.06.2026).

- DesignInc. (t.y.). *K2 Apartments*. <https://www.designinc.com.au/project/k2-apartments> (Erişim tarihi: 10.06.2026).
- European Heritage Awards. (t.y.). *Casa Batllo, Barcelona*. <https://www.europeanheritageawards.eu/winners/casa-batllo-barcelona/> (Erişim tarihi: 11.06.2026).
- Fallingwater. (t.y.). *Designing Fallingwater*. <https://fallingwater.org/history/the-kaufmanns-fallingwater/designing-fallingwater/> (Erişim tarihi: 11.06.2026).
- Foster + Partners. (t.y.). *Banyan Tree Corniche Bay*. <https://www.fosterandpartners.com/projects/banyan-tree-corniche-bay/> (Erişim tarihi: 11.06.2026).
- Heidelberg Materials. (t.y.). *Innovative nature-inspired design: Palazzo Italia Expo 2015, Milan, Italy*. https://www.heidelbergmaterials.us/docs/default-source/tx-active-case-studies/palazzo-italia_heidelberg-materials-tx-active-photocatalytic-cement-512924.pdf (Erişim tarihi: 10.06.2026).
- Journal of Biophilic Design. (2024). *De Verwondering: Biophilic primary school, Stephen R. Kellert Biophilic Design Award winner*. <https://journalofbiophilicdesign.com/podcast-journal-of-biophilic-design/biophilic-primary-school> (Erişim tarihi: 08.06.2026).
- Kellert, S. R., Heerwagen, J. ve Mador, M. (Ed.). (2008). *Biophilic design: The theory, science and practice of bringing buildings to life*. John Wiley & Sons.
- Lyle, J. T. (1994). *Regenerative design for sustainable development*. John Wiley & Sons.
- Nemesi Architects. (t.y.). *Italy Pavilion Expo Milan 2015*. <https://www.nemesiarchitects.com/en/project/italy-pavilion-expo-milan-2015/> (Erişim tarihi: 10.06.2026).
- ORGA Architect. (t.y.). *Biofilische school De Verwondering*. <https://www.orga-architect.nl/projecten/biofilische-school-de-verwondering/> (Erişim tarihi: 09.06.2026).
- Rizor, J. (2011, 21 Ağustos). AD Classics: Lotus Temple / Fariborz Sahba. *ArchDaily*. <https://www.archdaily.com/158522/ad-classics-lotus-temple-fariborz-sahba> (Erişim tarihi: 12.06.2026).
- UNESCO World Heritage Centre. (t.y.-a). *Works of Antoni Gaudí*. <https://whc.unesco.org/en/list/320/> (Erişim tarihi: 12.06.2026).
- UNESCO World Heritage Centre. (t.y.-b). *The 20th-century architecture of Frank Lloyd Wright*. <https://whc.unesco.org/en/list/1496/> (Erişim tarihi: 12.06.2026).
- U.S. Green Building Council. (t.y.). *LEED rating system*. <https://www.usgbc.org/leed> (Erişim tarihi: 10.06.2026).
- Van der Ryn, S. ve Cowan, S. (1996). *Ecological design*. Island Press.

World-Architects. (t.y.). *Palazzo Italia - Italy Pavilion Expo 2015*. <https://world-architects.com/en/nemesi-studio-roma/project/palazzo-italia-italy-pavilion-expo-2015> (Erişim tarihi: 11.06.2026).

Wright, F. L. (1908). In the cause of architecture. *Architectural Record*, 23, 155-220.

BİYOİLİK TASARIM İLKELERİNİN FARKLI MEKÂN TÜRLERİ ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Arş. Gör. Dr., BURCU TANRIKUT

Altınbaş Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,

burcu.tanrikut@altinbas.edu.tr - 0009-0007-7059-5221

ÖZET

Günümüzde kentleşme, yoğun çalışma temposu ve kapalı mekânlarda geçirilen sürenin artması, yapı tasarımında kullanıcıların fiziksel ve psikolojik sağlığı ile verimliliğini destekleyen yaklaşımları daha önemli hâle getirmiştir. Bu bağlamda biyofilik tasarım, insanın doğa ile kurduğu içsel ilişkiyi yapıyı çevreye taşıyan ve mekân deneyimini fiziksel, psikolojik ve duysal boyutlarıyla ele alan güncel bir tasarım yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, biyofilik tasarım ilkelerinin eğitim, çalışma ve sağlık mekânları bağlamında nasıl değerlendirilebileceğini incelemeyi amaçlamaktadır. Biyofilik tasarımın organik mimarlık, ekolojik tasarım, biyomimikri, yeşil tasarım ve rejeneratif tasarım gibi doğa temelli yaklaşımlardan ayrılan yönü, insanın doğayla kurduğu duygusal, psikolojik ve duysal ilişkiye odaklanmasıdır; bu ayrım çalışmanın temel değerlendirme eksenini oluşturmaktadır. Çalışmada öncelikle biyofili ve biyofilik tasarım kavramları açıklanmış; ardından bitki kullanımı, doğal ışık, doğal malzeme, doğal havalandırma, su ögesi, biyomorfik biçimler, çoklu duylara hitap etme, doğa manzarası ve mekânsal bütünlük gibi temel ilkeler ele alınmıştır. Bu ilkeler, Chatham University Eden Hall Campus, Amazon Spheres ve Khoo Teck Puat Hospital gibi seçilmiş örnekler üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İnceleme sonucunda biyofilik tasarımın, iç mekânda yalnızca bitkisel öğelere yer verilmesiyle açıklanamayacağı; doğal unsurların mekân kurgusu, kullanıcı deneyimi ve mekânsal atmosferle bütüncül biçimde ilişkilendirilmesi gerektiği görülmektedir. Eğitim, çalışma ve sağlık mekânlarında biyofilik tasarım ilkelerinin uygulanması, kullanıcıların iyi olma hâlini, motivasyonunu, üretkenliğini ve mekânla kurduğu bağı destekleyebilecek önemli bir tasarım yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyofilik tasarım, iç mimarlık, eğitim mekânları, çalışma mekânları, sağlık mekânları

1. GİRİŞ

Kentleşme ve yapılaşma yoğunluğu, bireylerin doğal çevreyle kurduğu doğrudan ilişkiyi giderek sınırlamakta; günlük yaşamın önemli bir bölümünün kapalı mekânlarda geçirilmesine

neden olmaktadır. Bu durum, mimarlık ve iç mimarlık alanlarında kullanıcıların fiziksel ve psikolojik gereksinimlerini destekleyen, doğayla ilişki kuran tasarım yaklaşımlarını daha önemli hâle getirmektedir. Eğitim ve çalışma mekânları, kullanıcıların günün önemli bir bölümünü geçirdiği; bilişsel performans, motivasyon, sosyal etkileşim ve mekânsal aidiyet gibi değişkenlerin önem kazandığı alanlardır. Sağlık mekânlarında ise kullanıcıların fiziksel iyileşme süreçlerinin yanı sıra psikolojik rahatlama, güven ve konfor gereksinimleri öne çıkmaktadır. Bu nedenle söz konusu mekânların yalnızca işlevsel ihtiyaçlara yanıt vermesi yeterli görülmemekte; kullanıcıların fiziksel ve psikolojik gereksinimlerini destekleyen bütüncül mekân kurgularına ihtiyaç duyulmaktadır.

Biyofilik tasarım, bu gereksinimlere doğa ile insan arasındaki ilişki üzerinden yanıt arayan bir yaklaşımdır. Biyofili kavramı, insanın canlı sistemlere ve doğaya yönelik içsel yakınlığını ifade ederken; biyofilik tasarım bu ilişkinin yapılı çevreye aktarılmasını amaçlamaktadır (Wilson, 1984; Kellert vd., 2008). Bu yönüyle biyofilik tasarım, doğaya ait öğelerin iç ve dış mekânlarda yalnızca dekoratif unsur olarak kullanılmasını değil, mekân deneyiminin doğal ışık, hava, su, bitki, doğal malzeme, manzara, organik biçim ve çoklu duyuşsal etkileşimler aracılığıyla bütüncül biçimde kurgulanmasını gerektirir.

Bu çalışmanın amacı, biyofilik tasarım ilkelerinin eğitim, çalışma ve sağlık mekânları üzerinden nasıl okunabileceğini ve seçilmiş yapı örneklerinde hangi tasarım kararlarıyla görünür hâle geldiğini değerlendirmektir. Bu doğrultuda çalışma, biyofilik tasarımı diğer doğa temelli tasarım yaklaşımlarıyla ilişkisi içinde konumlandırmakta; ardından seçilmiş örnekler üzerinden biyofilik tasarım ilkelerinin mekânsal karşılıklarını incelemektedir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Doğa Temelli Tasarım Yaklaşımları ve Biyofilik Tasarımın Kavramsal Ayrımı

Doğa temelli tasarım yaklaşımları, yapı ve çevre ilişkisini farklı odaklar üzerinden ele almaktadır. Organik mimarlık, yapının bulunduğu çevreyle biçimsel ve işlevsel bütünlüğünü önemserken; ekolojik tasarım, doğal çevreyle uyumlu ve kaynak kullanımını azaltan çözümler geliştirmeye odaklanmaktadır. Biyomimikri, doğadaki sistem, süreç ve biçimlerden öğrenerek tasarım çözümleri üretirken; yeşil tasarım, yapı üretim ve kullanım süreçlerinde enerji, su, malzeme ve çevresel etki konularını öne çıkarmaktadır. Rejeneratif tasarım ise doğal sistemlerin kendini yenileyen yapısından hareketle ekosisteme katkı sağlayan döngüsel ve onarıcı çözümler geliştirmeyi hedeflemektedir.

Biyofilik tasarım bu yaklaşımlarla ilişkili olmakla birlikte, temel odağı bakımından farklılaşmaktadır. Biyofilik tasarımın ayırt edici yönü, insanın doğayla kurduğu duygusal, psikolojik ve duyuşsal ilişkiye odaklanmasıdır. Başka bir ifadeyle biyofilik tasarım, doğanın yalnızca biçimsel, ekolojik ya da teknik özelliklerini değil; insan üzerindeki onarıcı, sakinleştirici, motive edici ve bağ kurdurucu etkilerini de tasarım sürecine dâhil etmektedir. Bu nedenle biyofilik tasarım, sürdürülebilirlik ve çevresel performans başlıklarıyla birlikte kullanıcı deneyimi ve fiziksel-psikolojik iyi oluş bağlamında değerlendirilmelidir (Browning vd., 2014; Kellert, 2005).

Biyofilik tasarım, kullanıcıların mekânla kurduğu ilişkiyi yalnızca görsel ya da işlevsel düzeyde değil; fiziksel, psikolojik ve duyuşsal deneyim boyutlarıyla da ele almaktadır. Bu yaklaşımda doğa ile kurulan temas; sakinleşme, dikkat toplama, motivasyon, yaratıcılık ve mekânsal aidiyet gibi kullanıcı deneyimini etkileyen unsurlarla ilişkilendirilmektedir. Eğitim ve çalışma mekânları, kullanıcıların uzun süre vakit geçirdiği ve zihinsel performansın önem kazandığı çevreler olarak öne çıkarken; sağlık mekânlarında fiziksel iyileşme, psikolojik rahatlama, güven ve konfor gereksinimleri belirginleşmektedir. Bu bağlamda biyofilik tasarım, kullanıcıların fiziksel ve psikolojik iyi oluşunu destekleyen, doğayla etkileşim kurmalarına olanak sağlayan ve mekânsal deneyimi güçlendiren bütüncül bir tasarım yaklaşımı olarak değerlendirilebilir.

2.2. Biyofilik Tasarım İlkeleri

Literatürde biyofilik tasarım ilkeleri farklı sınıflandırmalarla ele alınmaktadır. Terrapin Bright Green tarafından geliştirilen “14 Biyofilik Tasarım Örüntüsü”, doğanın mekândaki doğrudan ve dolaylı varlığını; görsel doğa bağlantısı, işitsel ve dokunsal deneyimler, termal ve hava akımı değişkenliği, suyun varlığı, dinamik ışık, biyomorfik biçimler, doğal malzeme bağlantısı, karmaşıklık ve düzen, sığınma ve açıklık gibi başlıklarla açıklamaktadır (Browning vd., 2014). Bu çalışmada iç mimarlık ölçeğinde okunabilir ve seçilmiş örnekler üzerinden karşılaştırılabilir olan temel ilkeler öne çıkarılmıştır (Çorakçı, 2016; Demirbaş ve Demirbaş, 2019).



Görsel 1. Biyofilik tasarımın temel ilkeleri

Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.

Bu ilkeler; bitki kullanımı, doğal ışık kullanımı, doğal malzeme kullanımı, doğal havalandırma ve hava akımı, su ögesi kullanımı, biyomorfik biçim ve düzenlemeler, çoklu duyulara hitap etme, doğa manzarası ile mekânsal hiyerarşi ve bütünlük olarak sıralanabilir. Bitki kullanımı, doğanın iç mekânla doğrudan ilişkilendirilmesini sağlayan temel öğelerden biri olarak değerlendirilmektedir. Doğal ışık ve havalandırma ise kullanıcının fizyolojik ritmi, konforu ve uyanıklık düzeyi üzerinde etkili olan önemli çevresel bileşenlerdir. Doğal malzemeler,

dokunsal ve görsel nitelikleri aracılığıyla mekânın doğallık algısını güçlendirmekte; su öğeleri ise görsel ve işitsel etkileriyle sakinleştirici bir mekânsal atmosferin oluşmasına katkı sağlamaktadır. Biyomorfik biçimler ve organik örüntüler, doğanın doğrudan bulunmadığı durumlarda doğaya ilişkin çağrışımların üretilmesine olanak tanımaktadır.

Çoklu duyuusal deneyim, kullanıcının doğayı yalnızca görsel olarak değil; ses, koku, doku, hava ve hareket yoluyla da algılamasını desteklemektedir. Doğa manzarası, iç mekân ile doğal çevre arasında görsel ilişki kurarak mekânsal açıklık, rahatlama ve yönelim hissini güçlendirmektedir. Mekânsal hiyerarşi ve bütünlük ise doğal öğelerin mekân içinde rastlantısal biçimde değil; dolaşım, odak noktaları, işlevsel alanlar ve kullanıcı deneyimiyle ilişkili olarak kurgulanmasını ifade etmektedir.

Biyofilik tasarımın güçlü ve bütüncül bir yaklaşım olarak değerlendirilebilmesi için bu öğelerin tekil ya da yüzeysel biçimde kullanılmaması gerekmektedir. İç mekânda yalnızca birkaç bitkisel öğeye yer verilmesi ya da doğal malzemenin sınırlı bir dekoratif yüzeyde kullanılması, biyofilik tasarımın bütüncül niteliğini karşılamamaktadır. Biyofilik tasarımda önemli olan, doğaya ait unsurların mekânın işlevi, kullanıcı profili, dolaşım kurgusu, aydınlatma düzeni, malzeme seçimi ve duyuusal atmosferiyle birlikte ele alınmasıdır.

3. YÖNTEM

Bu çalışma, nitel araştırma yaklaşımı kapsamında literatür ve örnek incelemesine dayalı olarak kurgulanmıştır. Çalışmada öncelikle biyofili, biyofilik tasarım ve doğa temelli tasarım yaklaşımlarına ilişkin kaynaklar incelenmiş; ardından eğitim, çalışma ve sağlık mekânlarıyla ilişkilendirilebilecek seçilmiş yapı örnekleri biyofilik tasarım ilkeleri doğrultusunda değerlendirilmiştir. Değerlendirme ölçütleri, sunum çalışmasında ele alınan temel biyofilik tasarım öğeleri ile güncel literatürde yer alan biyofilik tasarım örüntülerinin kesişiminden oluşturulmuştur.

Örnek seçiminde iki ölçüt dikkate alınmıştır. İlk olarak, mekânların eğitim, çalışma ve sağlık bağlamlarının yanı sıra iyi olma hâli ve kullanıcı deneyimi başlıklarıyla ilişki kurması önemslenmiştir. İkinci olarak, seçilen örneklerin biyofilik tasarım literatüründe veya mesleki yayınlarda belirgin biçimde tartışılan, ödül almış ya da biyofilik tasarım yaklaşımını görünür kılan yapılar olmasına dikkat edilmiştir. Bu kapsamda Chatham University Eden Hall Campus, Amazon Spheres ve Khoo Teck Puat Hospital örnekleri değerlendirmeye alınmıştır.

4. SEÇİLMİŞ ÖRNEKLER ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRME

4.1. Chatham University Eden Hall Campus, Pennsylvania, ABD



Görsel 2. Chatham University Eden Hall Campus’te biyofilik tasarım öğeleri: (a) kampüs-doğa ve manzara ilişkisi, (b) iç mekânda doğal ışık, ahşap ve yeşil duvar kullanımı, (c) sera/tarım ve üretim alanları, (d) su ögesi ve su ürünleri laboratuvarı.

Kaynak: Green Business Certification Inc., 2021’den yararlanılarak yazar tarafından düzenlenmiştir.

Chatham University Eden Hall Campus, yükseköğretim bağlamında biyofilik tasarım ilkelerinin kampüs ölçeğinde okunabildiği güçlü örneklerden biridir. Mithun tarafından tasarlanan ve 2016 yılında tamamlanan kampüs, sürdürülebilir yaşam, öğrenme ve gelişim üzerine kurulmuş bir akademik çevre olarak kurgulanmıştır. Eden Hall Campus, 2019 Stephen R. Kellert Biophilic Design Award finalistleri arasında yer almış; sonuç değerlendirmesinde ise öne çıkan adaylar ve mansiyon kapsamında anılmıştır (International Living Future Institute, 2019a, 2019b). Bu durum, kampüsün yalnızca sürdürülebilirlik performansı açısından değil, insan-doğa-mekân ilişkisini destekleyen biyofilik tasarım yaklaşımı açısından da dikkat çekici bir örnek olduğunu göstermektedir. Kampüste doğal çevreyle kurulan güçlü ilişki, açık alan kullanımı, doğal manzara, bitkisel öğeler, doğal ışık, doğal malzeme ve kullanıcıların doğayla çoklu duyular aracılığıyla etkileşim kurmasına olanak sağlayan mekânsal düzenlemeler, biyofilik tasarım yaklaşımını görünür hâle getirmektedir (Green Business Certification Inc., 2021).

Eden Hall Campus örneğinde biyofilik tasarım, yapı içinde bitkisel öğelere yer verilmesiyle sınırlı bir yaklaşım olarak ele alınmamaktadır. Kampüsün açık alanları, organik çiftlik ve

seraları, amfi tiyatrosu, doğal manzaraya yönelen yurt odaları, geniş pencereleri, yeşil duvar uygulamaları, ahşap yüzeyleri ve açık-kapalı toplanma alanları, kullanıcıların doğayla doğrudan ve dolaylı temas kurmasına olanak sağlamaktadır. İç mekânlarda doğal ışık, doğal malzeme ve bitkisel öğeler aracılığıyla doğallık algısı güçlendirilirken; sera, tarım alanları ve su ürünleri laboratuvarı gibi birimler, doğa ile kurulan ilişkinin yalnızca görsel düzeyde kalmayıp üretim, öğrenme ve deneyim süreçleriyle bütünleşmesini sağlamaktadır. Bu yönüyle kampüs, biyofilik tasarım ilkelerinin özellikle bitkisel öğeler, doğal ışık, doğal malzeme, doğa manzarası, açık alan deneyimi, çoklu duyuşsal etkileşim ve mekânsal bütünlük üzerinden bütüncül bir mekân kurgusuna dönüştürülebileceğini göstermektedir.

4.2. Amazon Spheres, Seattle, Washington, ABD



Görsel 3. Amazon Spheres örneğinde öne çıkan biyofilik tasarım öğeleri: (a) biyomorfik kabuk ve organik biçimleşiş, (b) bitki entegrasyonu, canlı yüzeyler ve yürüme yolları, (c) doğal ışık ve saydam yapı kabuğu, (d) su öğesi ve mikroiklimsel çeşitlilik, (e) doğal malzeme kullanımı ve dolaşım kurgusu, (f) kullanıcı deneyimi, etkileşim ve dinlenme alanları.

Kaynak: ArchDaily, 2019'dan yararlanılarak yazar tarafından düzenlenmiştir.

Amazon Spheres, çalışma mekânlarında biyofilik tasarımın yoğun ve görünür biçimde kullanıldığı örneklerden biridir. Seattle'da yer alan ve NBBJ tarafından tasarlanan yapı, cam ve çelikten oluşan üç bağlantılı küreden meydana gelmektedir. Yapı; yoğun bitki kullanımı, yaşayan duvarlar, yürüyüş yolları, toplantı alanları, su öğeleri ve farklı iklim koşulları aracılığıyla çalışma ortamını doğa deneyimiyle bütünleştirmektedir. Amazon Spheres, iç mekânda oluşturduğu güçlü bitki dokusu, doğal ışıkla ilişki kuran şeffaf yapı kabuğu ve çoklu

duyusal atmosferi nedeniyle çalışma mekânlarında biyofilik tasarımın dikkat çekici örneklerinden biri olarak değerlendirilmektedir (ArchDaily, 2019). Bu nitelikleriyle yapı, 2018 Stephen R. Kellert Biophilic Design Award finalistleri arasında yer almış; sonuç değerlendirmesinde ise öne çıkan adaylar ve mansiyon kapsamında anılmıştır (International Living Future Institute, 2018; 3BL Media, 2018).

Amazon Spheres'in biyofilik tasarım açısından önemli bir diğer yönü, doğayı kent merkezine taşıırken bu doğa deneyimini yaşayan ve sürekliliği olan bir iç ekosistem olarak ele almasıdır. Yapı, geleneksel ofislerde çoğu zaman eksik kalan doğrudan doğa bağlantısını çalışma ortamına dâhil etmeyi amaçlamaktadır. The Spheres'in resmî tanıtımında yapının 30'dan fazla ülkeden getirilen 40.000'i aşkın bulut ormanı bitkisine ev sahipliği yaptığı belirtilmektedir. Bu ölçek, bitki kullanımının dekoratif bir yüzey olmaktan öte, mekânın atmosferini, yönelimini ve kullanıcı deneyimini belirleyen ana tasarım bileşenlerinden biri hâline geldiğini göstermektedir. Yapıda cam kabuğun bitkilerin gelişimi için gerekli ışığı içeri alırken ısı kazancını sınırlayacak biçimde tasarlanması da biyofilik tasarımın yalnızca görsel bir doğa temsili değil; ışık, sıcaklık, nem, hava hareketi ve bakım süreçleriyle birlikte sürdürülen teknik ve duyusal bir mekân kurgusu olduğunu ortaya koymaktadır (The Spheres, t.y.; Stead, t.y.; Logan, 2018).

Bu bağlamda Amazon Spheres'te biyofilik tasarım ilkeleri; bitki kullanımı, doğal ışık kullanımı, su ögesi, doğal malzeme kullanımı, mikroklima düzenlemeleri, çoklu duylara hitap etme, iç mekânda oluşturulan doğa manzarası ile mekânsal hiyerarşi ve bütünlük üzerinden okunabilmektedir. Yaşayan duvarlar, büyük ölçekli bitkiler, su yüzeyleri, yürüyüş yolları ve sosyal kullanım alanları, doğa deneyiminin mekân içinde yalnızca görsel olarak değil; hareket, karşılaşma, dinlenme ve duyusal algı üzerinden de kurulmasını sağlamaktadır. ArchDaily'de de yapının yaşayan duvarlar, su öğeleri ve gündüz-gece değişen nem/sıcaklık koşullarıyla bitkilerin ve kullanıcıların ihtiyaçlarını birlikte gözetken bir iç mekân atmosferi oluşturduğu belirtilmektedir.

Bu örnekte biyofilik tasarımın temel katkısı, çalışma mekânını kapalı ve tekdüze bir ofis atmosferinden uzaklaştırarak kullanıcıya çok katmanlı bir doğa deneyimi sunmasıdır. Bitki çeşitliliği, gün ışığı, su öğeleri, doğal malzeme kullanımı, yürüyüş yolları ve informal toplantı alanları; çalışanların yalnızca görev odaklı değil, dinlenme, karşılaşma, keşfetme ve sosyalleşme odaklı bir mekân deneyimi yaşamasına olanak tanımaktadır. Böylece Amazon Spheres, çalışma mekânlarında biyofilik tasarımın doğal öğeleri yalnızca dekoratif unsurlar olarak kullanmakla sınırlı kalmadığını; bu öğelerin dolaşım, karşılaşma, dinlenme ve çalışma deneyimiyle bütünleşen bütüncül bir mekân kurgusu içinde değerlendirilebileceğini göstermektedir.

4.3. Khoo Teck Puat Hospital, Yishun, Singapur



Görsel 4. Khoo Teck Puat Hospital’da biyofilik tasarım öğeleri: (a) iç avlu, bitkilendirme ve şelale etkisi, (b) hastane yapısı ile Yishun göleti arasındaki ilişki, (c) çatı bahçesi ve üretim alanları, (d) yeşil cephe, balkonlar ve doğa manzarası.

Kaynak: 3BL Media, 2017; International Living Future Institute, t.y.’den yararlanılarak yazar tarafından düzenlenmiştir.

Khoo Teck Puat Hospital, biyofilik tasarımın sağlık mekânlarında kullanıcı psikolojisi, fiziksel iyileşme ve psikolojik rahatlama süreçleriyle nasıl ilişkilendirilebileceğini göstermesi bakımından dikkat çekici bir örnektir. International Living Future Institute tarafından ilk Stephen R. Kellert Biyofilik Tasarım Ödülü’nün sahibi olarak açıklanan yapı, bu yaklaşımın sağlık mekânlarındaki iyileştirici potansiyelini görünür kılmaktadır (3BL Media, 2017).

Bu bağlamda yapıda biyofilik tasarım ilkeleri; su ögesi kullanımı, bitki kullanımı, dikey bahçeler, doğal havalandırma ve hava akımı, doğa manzarası, çoklu duylara hitap etme ile mekânsal hiyerarşi ve bütünlük ilkeleriyle ilişkilendirilebilmektedir. Su ve yeşil alanların hastane kurgusu içinde yoğun biçimde yer alması, kullanıcıların doğayla görsel, işitsel ve duysal temas kurmasına olanak sağlamaktadır. Yapı içinde yer alan şelale ve su yüzeyleri, su ögesinin yalnızca görsel bir peyzaj unsuru olarak değil; ses, hareket ve serinlik etkisiyle çoklu

duyusal deneyimi destekleyen bir bileşen olarak ele alındığını göstermektedir. Açık alanlar, çatı bahçesi, doğal havalandırma ve bitkilendirilmiş mekânsal geçişler ise hastane ortamının kapalı ve stres üreten yapısını azaltarak daha sakin, ferah ve iyileşmeyi destekleyen bir mekânsal atmosfer oluşturmaktadır. Bu örnek, biyofilik tasarımın sağlık mekânlarında yalnızca estetik bir tercih olarak değil; doğayla görsel, işitsel ve duyusal temas kuran, stresi azaltmaya ve psikolojik rahatlamaı desteklemeye yönelik bütüncül bir mekân kurgusu olarak ele alınabileceğini göstermektedir.

5. KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME

Seçilen örnekler birlikte değerlendirildiğinde biyofilik tasarımın farklı yapı türlerinde farklı yoğunluk ve ölçeklerde uygulanabildiği görülmektedir. Chatham University Eden Hall Campus, kampüs ölçeğinde sürdürülebilirlik, tarım, su, enerji ve doğal çevre ilişkisini eğitim deneyimiyle bütünleştirirken; Amazon Spheres, çalışma mekânında doğayı yoğun bitki kullanımı ve cam kabuk aracılığıyla iç mekânın ana atmosferine dönüştürmektedir. Khoo Teck Puat Hospital, biyofilik tasarımın sağlık ve iyileşme üzerindeki potansiyelini göstermektedir.

Çizelge 1. Seçilmiş örneklerin biyofilik tasarım ilkeleri açısından karşılaştırılması (Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır)

Örnek	Mekân türü	Öne çıkan biyofilik öğeler	Biyofilik tasarımın mekânsal karşılığı
Chatham University Eden Hall Campus	Eğitim yapısı	Doğal malzeme, doğal ışık, bitkisel öğeler, tarım alanları, açık alanlar, doğa manzarası, mekânsal bütünlük	Yükseköğretim yerleşkesi ölçeğinde sürdürülebilir yaşam, öğrenme ve doğayla etkileşim deneyimiyle bütünleşen bir kampüs kurgusu sunmaktadır.
Amazon Spheres	Çalışma yapısı	Yoğun bitki kullanımı, yaşayan duvarlar, doğal ışık, su öğeleri, doğal malzeme, mikroklima, çoklu duyusal etkileşim, mekânsal bütünlük	Çalışma mekânında doğayla temas, dolaşım, karşılaşma ve dinlenme deneyimleriyle bütünleşen çok katmanlı bir mekân kurgusu oluşturmaktadır.
Khoo Teck Puat Hospital	Sağlık yapısı	Yeşil alanlar, su öğeleri, çatı bahçesi, doğal havalandırma, doğa manzarası, çoklu duyusal deneyim	Sağlık mekânlarında doğayla temas, psikolojik rahatlama ve stresi azaltmaya yönelik mekânsal atmosferin oluşturulması açısından değerlendirilebilmektedir.

Çizelge 1’de görüldüğü üzere, seçilen örnekler biyofilik tasarım ilkelerini farklı ölçek, işlev ve kullanıcı grupları üzerinden görünür kılmaktadır. Doğal ışık ve bitki kullanımı örneklerin çoğunda ortak biçimde öne çıkmakla birlikte, bu öğelerin mekânsal karşılıkları yapı türüne göre farklılaşmaktadır. Chatham University Eden Hall Campus’te doğal ışık, açık alan bağlantısı ve doğal malzeme kullanımı eğitim çevresinin öğrenme deneyimiyle bütünleşmesini desteklerken; Amazon Spheres’te yoğun bitki kullanımı, yaşayan duvarlar, mikroklima ve geçirgen yapı kabağı çalışma mekânının ana atmosferini belirleyen unsurlar hâline gelmektedir. Khoo Teck Puat Hospital’da ise su öğesi, yeşil alanlar, çatı bahçesi ve doğal havalandırma; iyileştirici çevre yaklaşımını güçlendiren ve doğayla görsel-duyusal teması destekleyen öğeler olarak öne çıkmaktadır.

Ölçek açısından bakıldığında Chatham University Eden Hall Campus, biyofilik tasarımı kampüs bütününe yayılan bir yaşam ve öğrenme çevresi olarak ele alması bakımından diğer örneklerden ayrılmaktadır. Bu örnekte doğa ile ilişki yalnızca iç mekân düzenlemeleriyle değil; açık alanlar, tarım alanları, suyla ilişki, doğal manzara ve sürdürülebilir yaşam pratikleriyle birlikte kurulmaktadır. Amazon Spheres ise daha sınırlı bir yapı ölçeğinde, doğayı iç mekânın ana atmosferine dönüştüren yoğun ve kontrollü bir peyzaj deneyimi sunmaktadır. Bu yönüyle Chatham örneği doğa ile ilişkiyi kampüs yaşantısına yayarken, Amazon Spheres çalışma mekânında doğa deneyimini çalışma, dinlenme, dolaşım ve sosyal etkileşim süreçleriyle bütünleştirmektedir.

Kullanıcı deneyimi açısından Khoo Teck Puat Hospital, biyofilik tasarımın psikolojik rahatlama, stresin azaltılması ve iyileştirici çevre yaklaşımıyla ilişkilendirilebileceğini gösteren güçlü bir örnektir. Chatham ve Amazon örneklerinde öğrenme, çalışma, üretim ve sosyal etkileşim deneyimleri öne çıkarken; Khoo Teck Puat Hospital’da doğa ile temas daha çok sakinleşme, güven, konfor ve iyileşmeyi destekleyen mekânsal atmosfer bağlamında değerlendirilmektedir.

Bu karşılaştırma, biyofilik tasarımın belirli bir biçimsel yaklaşıma ya da doğal öğelerin mekâna dâhil edilmesine indirgenemeyeceğini göstermektedir. Örnekler arasında ölçek, işlev ve kullanıcı profili farklılaşsa da ortak nokta, doğaya ait unsurların mekânın atmosferi, işleyişi ve kullanıcı deneyimiyle ilişkilendirilmesidir. Bu nedenle seçilen örneklerde biyofilik tasarım ilkelerinin doğal ışık, bitki, su, doğal malzeme, manzara, hava akımı ve çoklu duyuşal deneyim gibi öğeler üzerinden parçalı biçimde değil; mekânın bütününe yayılan bütüncül bir kurgu olarak ele alınması gerektiği görülmektedir.

6. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, biyofilik tasarım ilkelerinin eğitim, çalışma ve sağlık mekânları üzerinden değerlendirilmesine odaklanmıştır. İnceleme sonucunda biyofilik tasarımın, diğer doğa temelli tasarım yaklaşımlarıyla ilişkili olmakla birlikte, insanın doğayla kurduğu duyuşal, psikolojik ve duyuşal ilişkiyi merkeze alması nedeniyle ayrıştığı görülmektedir. Bu ayrım, biyofilik tasarımın yalnızca sürdürülebilirlik ölçütleri ya da biçimsel doğa referanslarıyla sınırlı olmadığını; kullanıcı deneyimi, fiziksel ve psikolojik iyi oluş, motivasyon, üretkenlik ve mekânsal aidiyet gibi boyutlarla da ilişkili olduğunu göstermektedir.

Seçilen örnekler, biyofilik tasarımın farklı ölçeklerde ve farklı mekân türlerinde uygulanabileceğini göstermektedir. Kampüs ölçeğinde doğayla bütünleşen öğrenme çevreleri, çalışma mekânlarında doğal unsurlarla zenginleştirilen alternatif ofis deneyimleri ve sağlık yapılarında iyileşmeyi destekleyen yeşil alanlar ve su öğeleri, biyofilik tasarımın farklı mekânsal karşılıklarını oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, eğitim, çalışma ve sağlık mekânlarında biyofilik tasarım ilkelerinin uygulanması, kullanıcıların fiziksel ve psikolojik iyi olma hâlini destekleyebilecek önemli bir tasarım yaklaşımı olarak değerlendirilebilir. Ancak bu yaklaşımın etkili olabilmesi için bitki, ışık, malzeme, hava, su, manzara ve duyuşal deneyim gibi öğelerin parçalı değil, bütüncül bir tasarım sistemi içinde ele alınması gerekmektedir. Gelecek çalışmalarda biyofilik tasarım ilkelerinin kullanıcı algısı, öğrenme performansı, motivasyon ve üretkenlik üzerindeki

etkilerinin deneysel ya da kullanıcı odaklı araştırmalarla incelenmesi, insan-doğa-mekân ilişkisine yönelik tartışmaların mimarlık ve iç mimarlık alanlarında daha kapsamlı biçimde ele alınmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- 3BL Media. (2017, November 13). First annual Stephen R. Kellert Biophilic Design Award goes to Khoo Teck Puat Hospital. *3BL Media*. <https://www.3blmedia.com/news/first-annual-stephen-r-kellert-biophilic-design-award-goes-khoo-teck-puat-hospital> (Erişim tarihi: 09.06.2026).
- 3BL Media. (2018, November 15). Second annual Stephen R. Kellert Biophilic Design Award winners announced. *3BL Media*. <https://www.3blmedia.com/news/second-annual-stephen-r-kellert-biophilic-design-award-winners-announced> (Erişim tarihi: 11.06.2026).
- ArchDaily. (2019, July 1). Amazon Spheres / NBBJ. *ArchDaily*. <https://www.archdaily.com/920029/amazon-spheres-nbbj> (Erişim tarihi: 10.06.2026).
- Browning, W. D., Ryan, C. O., & Clancy, J. O. (2014). *14 patterns of biophilic design: Improving health and well-being in the built environment*. Terrapin Bright Green. <https://www.terrapinbrightgreen.com/reports/14-patterns/> (Erişim tarihi: 12.06.2026).
- Çorakçı, R. E. (2016). *İç mimarlıkta biyofilik tasarım ilkelerinin belirlenmesi* [Doktora tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Demirbaş, G. U., ve Demirbaş, O. D. (2019). Biyofilik tasarım kapsamında peyzaj mimarlığı ve iç mimarlık arakesiti: Eğitim programlarının karşılıklı değerlendirilmesi. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 50-60.
- Green Business Certification Inc. (2021, September). *Chatham University Eden Hall Campus: PEER case study*. https://peer.gbci.org/sites/default/files/resources/PEER%20Case%20Study_Chatham%20University.pdf (Erişim tarihi: 09.06.2026).
- International Living Future Institute. (2018, November 1). 2018 Stephen R. Kellert Biophilic Design Award. *Trim Tab*. <https://trimtab.living-future.org/blog/2018-stephen-r-kellert-biophilic-design-award/> (Erişim tarihi: 15.06.2026).
- International Living Future Institute. (2019a, October 29). Finalists announced! 2019 Stephen R. Kellert Biophilic Design Award. *Trim Tab*. <https://trimtab.living-future.org/biophilic-design/2019-stephen-r-kellert-biophilic-design-award/> (Erişim tarihi: 15.06.2026).
- International Living Future Institute. (2019b, November 20). 2019 Stephen R. Kellert Biophilic Design Award winners announced. *Trim Tab*. <https://trimtab.living-future.org/press-release/2019-stephen-r-kellert-biophilic-design-award-winners-announced/> (Erişim tarihi: 15.06.2026).

- International Living Future Institute. (t.y.). Khoo Teck Puat Hospital. *Living Future*. <https://living-future.org/case-studies/award-winner-khoo-teck-puat-hospital/> (Erişim tarihi: 10.06.2026).
- Kellert, S. R. (2005). *Building for life: Designing and understanding the human-nature connection*. Island Press.
- Kellert, S. R., Heerwagen, J. H., & Mador, M. L. (Eds.). (2008). *Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life*. John Wiley & Sons.
- Logan, K. (2018, January 31). Amazon Spheres by NBBJ open in Seattle. *Architectural Record*. <https://www.architecturalrecord.com/articles/13227-amazon-spheres-by-nbbj-open-in-seattle> (Erişim tarihi: 12.06.2026).
- Stead, J. (t.y.). The Spheres' plants, up close and personal. *About Amazon*. <https://www.aboutamazon.com/news/amazon-offices/the-spheres-plants-up-close-and-personal> (Erişim tarihi: 11.06.2026).
- The Spheres. (t.y.). *The Spheres*. Seattle Spheres. <https://www.seattlespheres.com/> (Erişim tarihi: 12.06.2026).
- Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*. Harvard University Press.

YÜKSEK YAPILARDA CEPHE KAYNAKLI YANGIN RİSKLERİNİN GERÇEK VAKA ANALİZLERİ ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Akif Yıldız

Sakarya Üniversitesi Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi

akifyildiz@sakarya.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-7248-6191>

ÖZET

Yüksek yapılar, yoğun kentleşme koşullarında sınırlı arsa alanında yüksek kullanıcı yoğunluğunu barındırabilen, karma işlevleri ve düşey organizasyonu nedeniyle çağdaş yapı üretiminin önemli bileşenlerindendir. Ancak bu yapılar, yangın durumunda tahliye, müdahale, duman kontrolü ve katlar arası yayılım açısından konvansiyonel yapılara göre daha karmaşık riskler ortaya çıkarmaktadır. Özellikle dış cepheye ilişkin malzeme ve detay kararları, yangının bina içinde sınırlı kalan bir olay olmaktan çıkarak cephe yüzeyi, pencere açıklıkları, havalandırılmalı boşluklar ve bu boşluklarda oluşan baca etkisi aracılığıyla kısa sürede katlar arası yayılıma dönüşmesinde belirleyici rol oynayabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, yüksek yapılarda cephe kaynaklı yangın risklerini gerçek vaka analizleri üzerinden değerlendirmek ve yangının başlangıcı, yayılım biçimi ile cephe sistemine ilişkin malzeme, detay ve tasarım kararları arasındaki ilişkiyi karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktır. Çalışmada Lacrosse Apartmanı, Valencia Campanar Konut, The Peak @ Toa Payoh ve 30 Toh Guan Road yangınları ana vaka seti olarak ele alınmıştır. Yöntem olarak karşılaştırmalı vaka analizi benimsenmiş; vakalar yangının başlangıç noktası, ilk tutuşma nedeni, cephe üzerinden yayılım güzergâhı, kullanılan cephe malzemeleri, havalandırılmalı boşlukların ve baca etkisinin yangın gelişimine katkısı, pencere-balkon-parapet gibi cephe açıklık ve birleşim detayları ile yangın bariyerlerinin sürekliliği açısından incelenmiştir. Benzer nitelikteki diğer yüksek yapı cephe yangınları ise ortak risk örüntülerinin tartışılması amacıyla destekleyici karşılaştırma verisi olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, yanıcı cephe kaplamaları, sürekli cephe boşlukları, yetersiz yangın bariyerleri ve cephe açıklıklarının yangının katlar arası yayılımını hızlandırabildiğini göstermektedir. Bu durum, duman kontrolü, tahliye ve müdahale süreçlerini zorlaştırarak yüksek yapılarda cephe tasarımının yangın güvenliği açısından bütüncül biçimde ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek yapılar, cephe yangınları, yangın yayılımı, yanıcı cephe kaplamaları, baca etkisi

Evaluation of Façade-Related Fire Risks in High-Rise Buildings Through Real Case Analyses

Asst. Prof. Dr. Mehmet Akif Yıldız

Sakarya University, Faculty of Art, Design and Architecture
akifyildiz@sakarya.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-7248-6191>

Abstract

High-rise buildings are among the important components of contemporary building production, as they can accommodate high user density on limited land under conditions of dense urbanization and are characterized by mixed functions and vertical organization. However, in the event of fire, these buildings present more complex risks than conventional buildings in terms of evacuation, intervention, smoke control, and fire spread between floors. In particular, material and detailing decisions related to the exterior façade can play a determining role in transforming a fire that remains confined within the building into inter-floor spread within a short time through the façade surface, window openings, ventilated cavities, and the stack effect occurring within these cavities. The aim of this study is to evaluate façade-related fire risks in high-rise buildings through real case analyses and to comparatively reveal the relationship between the origin of fire, its mode of spread, and the material, detailing, and design decisions related to the façade system. In the study, the Lacrosse Apartment Fire, Valencia Campanar Residential Fire, The Peak @ Toa Payoh Fire, and 30 Toh Guan Road Fire were considered as the main case set. A comparative case analysis method was adopted; the cases were examined in terms of the origin of the fire and the initial ignition cause, the spread route over the façade, the façade materials used, the contribution of ventilated cavities and the stack effect to fire development, façade opening and junction details such as windows, balconies, and parapets, and the continuity of fire barriers. Other similar high-rise façade fires were evaluated as supporting comparative data for discussing common risk patterns. The findings show that combustible façade claddings, continuous façade cavities, inadequate fire barriers, and façade openings can accelerate the spread of fire between floors. This situation makes smoke control, evacuation, and intervention processes more difficult and demonstrates that façade design in high-rise buildings should be addressed holistically in terms of fire safety.

Keywords: High-rise buildings, façade fires, fire spread, combustible façade claddings, stack effect

KAMPÜS YAPILARINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ BAĞLAMINDA MİMARİ FORMUN ROLÜ¹

ELÇİN GÜN

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi,
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı,
Adana, Türkiye
22800901012@atu.edu.tr - 0009-0003-6552-7604

DOÇ. DR. GÖKHAN UŞMA

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi,
Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü,
Adana, Türkiye
gusma@atu.edu.tr - 0000-0002-7293-123X

ÖZET

Yapı sektörü; enerji tüketimi ve çevresel etkiler açısından, küresel ölçekte belirleyici rol oynamaktadır. Bu kapsamda, yüksek enerji tüketimleri ve farklı kullanım senaryolarına sahip kampüs yapıları önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Yapılarda enerji performansını etkileyen birçok tasarım parametresi bulunmakla birlikte, mimari form bu parametreler arasında önemli bir yere sahiptir. Özellikle sıcak-nemli iklim bölgelerinde mimari forma ilişkin tasarım kararları; güneş ışıınımı, doğal havalandırma, gölgeleme ve yüzey alanı/hacim oranı gibi etkenler aracılığıyla yapıların enerji gereksinimlerini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, sıcak-nemli iklim koşullarında mimari form ile enerji performansı arasındaki ilişkiyi incelemektir. Araştırma kapsamında enerji ve enerji verimliliği kavramları, dünyada ve Türkiye’de enerji verimliliğine yönelik yaklaşımlar, kampüs yapılarında enerji verimliliği ölçütleri, yapılarda enerji performansını etkileyen çevresel faktörler, enerji etkin sistemler ve yapıya ilişkin tasarım parametreleri literatür kapsamında değerlendirilmiştir. Ayrıca iklim odaklı tasarım ilkeleri ile mimari formun enerji verimliliği üzerindeki etkisini inceleyen ulusal ve uluslararası çalışmalar ele alınmıştır. Bu doğrultuda yapı yönelişi, mimari form, mekan kurgusu parametreleri incelenmiş; sıcak-nemli iklim bölgelerine yönelik önerilen form özellikleri değerlendirilmiştir. Literatürden elde edilen bulgular doğrultusunda mimari formun enerji performansına etkisini incelemeye yönelik bir araştırma çerçevesi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, sıcak-nemli iklim, yapı formu, kampüs yapıları

¹ Bu çalışma, Kampüs Yapılarında Mimari Formun Enerji Verimliliği Bağlamında Değerlendirilmesi başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

1. GİRİŞ

Enerji talebindeki artış ve çevresel sorunların giderek belirginleşmesi, enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasına yönelik yaklaşımları ön plana çıkarmaktadır. Yapı sektörü, enerji tüketimi ve karbon emisyonları içerisindeki yüksek payı nedeniyle enerji verimliliği çalışmalarının odak noktalarından biri haline gelmiştir (Şenel ve Koç, 2013). Bu doğrultuda birçok ülkede yapıların enerji performansını iyileştirmeye yönelik yasal düzenlemeler ve stratejik politikalar geliştirilmiştir.

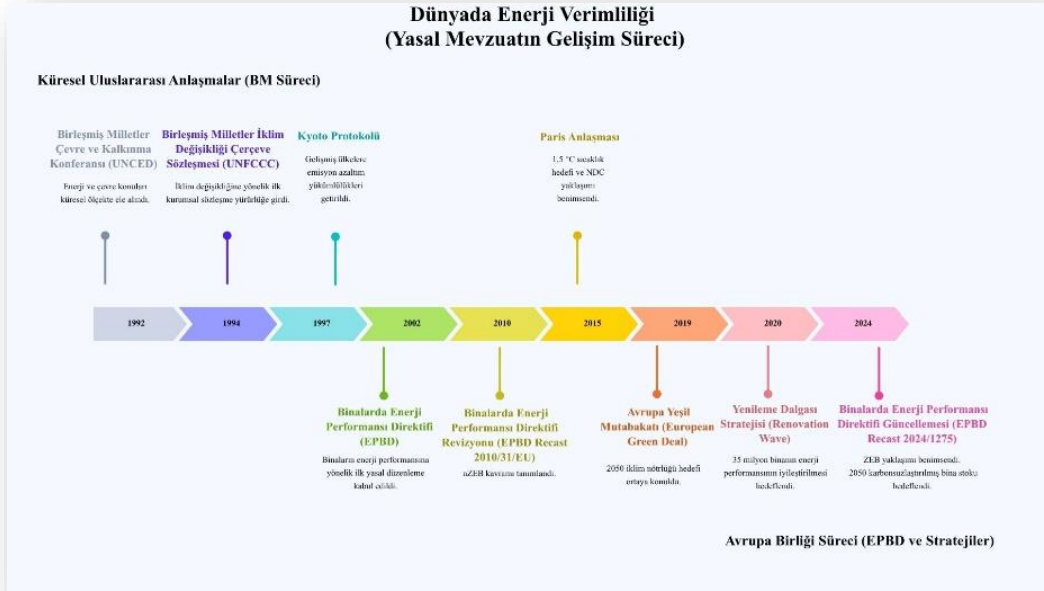
Avrupa Birliği tarafından yayımlanan enerji performansı direktifleri, sıfır emisyonlu bina hedefleri ve sürdürülebilir yapı uygulamaları bu kapsamda öne çıkmaktadır (Görsel 1). Türkiye’de ise Enerji Verimliliği Kanunu, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı gibi düzenlemeler ile yapı sektöründe enerji etkinliğinin artırılması hedeflenmektedir (European Commission, 2024; ETKB, 2024) (Görsel 2). Bu gelişmeler doğrultusunda, yüksek enerji ve kaynak tüketimine sahip yerleşkeler olarak üniversite kampüsleri de sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği çalışmalarının önemli uygulama alanlarından biri haline gelmiştir. Kampüslerin sürdürülebilirlik performanslarının değerlendirilmesi amacıyla uluslararası ve bölgesel ölçekte çeşitli değerlendirme ve derecelendirme sistemleri geliştirilmiştir (Bilgili ve Topal, 2021, ss. 417-424) (Görsel 3).

Kampüslerin enerji performansı; kullanıcı davranışları, işletme politikaları, teknik sistemler ve fiziksel çevre koşullarının yanı sıra tasarım sürecinde alınan mimari kararlarla da yakından ilişkilidir (Sarıkoç, 2023). Bu kapsamda; yapı yönelişi, mimari form ve mekan kurgusu gibi parametreler, yapının çevresel koşullarla kurduğu ilişkiyi belirleyerek enerji gereksinimleri üzerinde etkili olmaktadır (Görsel 5). Özellikle sıcak-nemli iklim bölgelerinde yüksek sıcaklık ve nem değerleri, yapıların soğutma enerjisi gereksinimini artırmaktadır. Bu durum, doğal havalandırmayı destekleyen, güneş kazançlarını kontrol altına alan ve iklim koşullarıyla uyumlu yapı formlarının önemini artırmaktadır. (Olgyay, 1963; Uzun, 1997; Koca, 2006; Türkteş, 2014; Taştanir, 2020; Cengizoglu Başaran, 2021; Atalay, 2025) Bu bağlamda, yapı formunun enerji performansına etkilerinin sıcak-nemli iklim koşulları ve kampüs yapıları özelinde değerlendirilmesi, enerji verimli tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlayabilecek önemli bir araştırma alanı olarak görülmektedir.

2. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE YÖNELİK YAKLAŞIMLAR

1992 Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı, 1994 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), 1997 Kyoto Protokolü ve 2015 Paris Anlaşması, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve sürdürülebilir enerji politikalarının geliştirilmesine yönelik temel uluslararası adımları oluşturmuştur (UNFCCC, 1994; United Nations, 2015). Avrupa Birliği ise bu hedefler doğrultusunda 2002 yılında Binalarda Enerji Performansı Direktifi'ni (EPBD) yürürlüğe koymuş, 2010 yılında neredeyse sıfır enerjili bina (nZEB) yaklaşımını benimsemiş, 2019 Avrupa Yeşil Mutabakatı ve 2020 Yenileme Dalgası Stratejisi ile mevcut bina stokunun enerji performansının iyileştirilmesini hedeflemiştir (Görsel 1).

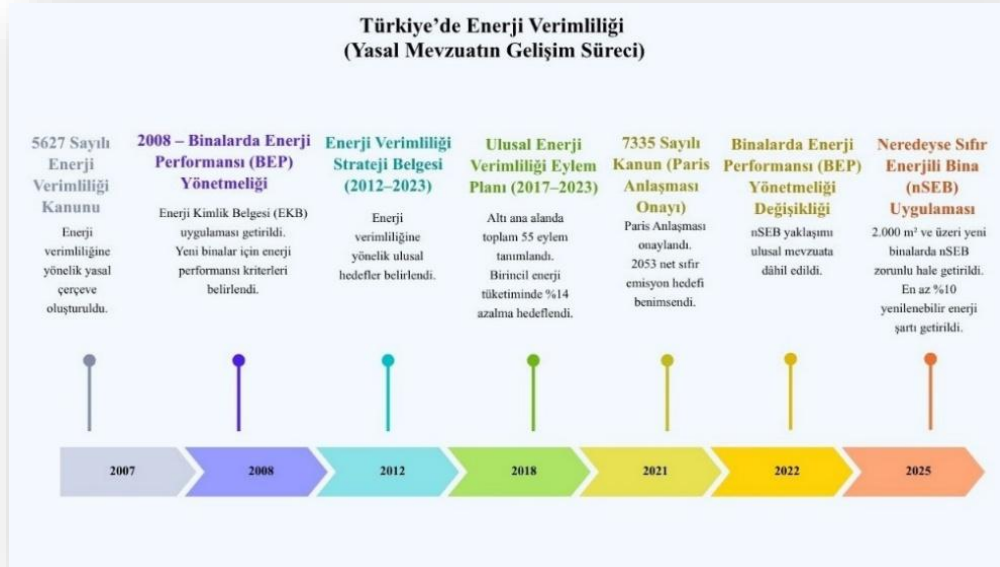
Son olarak 2024 yılında güncellenen EPBD kapsamında sıfır emisyonlu bina (ZEB) yaklaşımı benimsenmiş ve 2050 yılına kadar bina sektörünün karbonsuzlaştırılması hedeflenmiştir (European Commission, 2019; European Commission, 2020; European Commission, 2024) (Görsel 1).



Görsel 1. Dünyada Enerji Verimliliği (Yasal Mevzuatın Gelişim Süreci) (Kaynak: Yazar tarafından ilgili uluslararası mevzuat temel alınarak hazırlanmıştır.)

Türkiye'de enerji verimliliğine yönelik yasal ve kurumsal düzenlemeler, büyük ölçüde Avrupa Birliği enerji politikalarıyla uyumlu olarak geliştirilmiştir. Bu kapsamda 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve 2008 yılında yayımlanan Binalarda Enerji Performansı (BEP) Yönetmeliği ile yapı sektörüne yönelik temel yasal çerçeve oluşturulmuştur (Resmî Gazete, 2007; Resmî Gazete, 2008). Sonraki yıllarda yayımlanan Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ve Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı ile enerji verimliliği politikaları daha kapsamlı hale getirilmiştir (ETKB, 2024) (Görsel 2).

Türkiye'nin 2021 yılında Paris Anlaşması'nı onaylamasının ardından 2053 net sıfır emisyon hedefi benimsenmiş; bu doğrultuda 2022 yılında neredeyse sıfır enerjili binalar (nSEB) ulusal mevzuata dahil edilmiş, 2025 yılı itibarıyla ise yeni binalara yönelik enerji performansı ve yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin yeni yükümlülükler getirilmiştir (Resmî Gazete, 2021; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022; Resmî Gazete, 2025) (Görsel 2).



Görsel 2. Türkiye’de Enerji Verimliliği (Yasal Mevzuatın Gelişim Süreci) (Kaynak: Yazar tarafından ilgili uluslararası mevzuat temel alınarak hazırlanmıştır.)

3. KAMPÜSLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Üniversite kampüsleri, eğitim, araştırma, sosyal ve idari işlevleri bir arada barındırmaları ile yüksek enerji tüketim potansiyelleri nedeniyle sürdürülebilirlik çalışmalarında önemli bir yere sahiptir (Bilgili ve Topal, 2021, ss. 417–424). Kampüslerde sürdürülebilirlik anlayışı, 1990’lı yıllardan itibaren uluslararası bildiriler ve girişimlerle gelişmiş, sonraki yıllarda "yeşil kampüs" ve "eko-kampüs" yaklaşımlarıyla daha sistematik bir yapıya kavuşmuştur (Bilgili ve Topal, 2021; UNESCO, 1998). Günümüzde ise sürdürülebilir kampüs uygulamaları, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ve Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization-UNESCO) tarafından yürütülen çalışmalar doğrultusunda gelişimini sürdürmektedir (United Nations, 2015; UNESCO, 2020) Görsel 3).



Görsel 3. Üniversite Kampüslerinde Sürdürülebilirlik Yaklaşımının Gelişimine Yön Veren Uluslararası Bildirgeler (Kaynak: Yazar tarafından ilgili uluslararası mevzuat temel alınarak hazırlanmıştır.)

3.1. Kampüslerde Enerji Verimliliği Ölçütleri

Üniversite kampüslerinin sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği performanslarının değerlendirilmesi amacıyla uluslararası ve bölgesel ölçekte çeşitli değerlendirme sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler, üniversitelerin sürdürülebilirlik performanslarını farklı ölçütler üzerinden değerlendirerek uygulamaların izlenmesine ve kurumlar arasında karşılaştırma yapılmasına olanak sağlamaktadır. (Görsel 4)

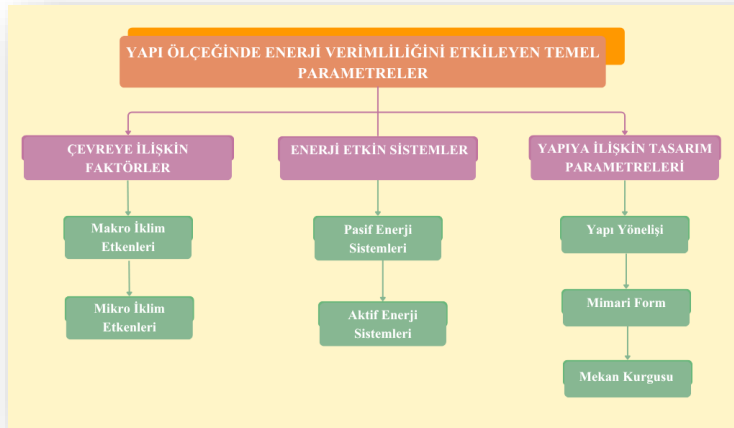
Bu kapsamda küresel ölçekte Sürdürülebilirlik İzleme, Değerlendirme ve Derecelendirme Sistemi (STARS), Yükseköğretimde Sürdürülebilirlik için Değerlendirme Aracı (AISHE), Üniversitelerde Sürdürülebilirliğin Grafiksel Değerlendirme Aracı (GASU), Kolejler ve Üniversiteler için Sürdürülebilirlik Değerlendirme Anketi (SAQ), UI GreenMetric Dünya Üniversite Sürdürülebilirlik Sıralaması (UI GreenMetric), Times Yükseköğretim Etki Sıralaması (THE Impact Rankings) ve QS Sürdürülebilirlik Sıralaması (QS Sustainability Rankings); bölgesel ölçekte ise Yeşil Kampüs Değerlendirme Standardı (ASGC), Sürdürülebilir Kampüs Değerlendirme Sistemi (ASSC) ve Üniversite Ligi Endeksi (University League Index) öne çıkan değerlendirme sistemleri arasında yer almaktadır. (Urbanski ve Leal Filho, 2015; Caeiro ve diğerleri, 2020; Doocy ve diğerleri, 2021; Sarıkoç, 2023; Mahmoud, 2024; Yıldız, 2024) (Görsel 4)



Görsel 4. Kampüslerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Sürdürülebilirlik ve Enerji Verimliliği Ölçütleri (Kaynak: Yazar tarafından ilgili değerlendirme sistemleri esas alınarak hazırlanmıştır.)

3.2. Yapılarda Enerji Verimliliği

Yapı ölçeğinde enerji performansı; çevresel koşullar, enerji etkin sistemler ve yapıya ilişkin tasarım parametrelerinin ortak etkisiyle şekillenmektedir (Görsel 5). Bu kapsamda yapı yönelişi, mimari form, mekânsal kurgu ve yapı kabuğu gibi tasarım kararları, yapının enerji gereksinimlerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Alaybaşı, 2003; Uşma, 2021; Uşma, 2025). Bu çalışma kapsamında, enerji performansını etkileyen tasarım parametreleri arasında yer alan mimari formun sıcak-nemli iklim koşullarındaki enerji verimliliğine etkisi literatür kapsamında değerlendirilmiştir.



Görsel 5. Yapı Ölçeğinde Enerji Verimliliğini Etkileyen Temel Parametreler Olgyay (1963), Hestnes (1999), Robitu ve diğerleri (2006), Dikmen (2011), Bayraktar (2015), Umaroğulları ve Cihangir (2019), Yağlıca (2022) ve Erell ve diğerleri (2023) temel alınarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

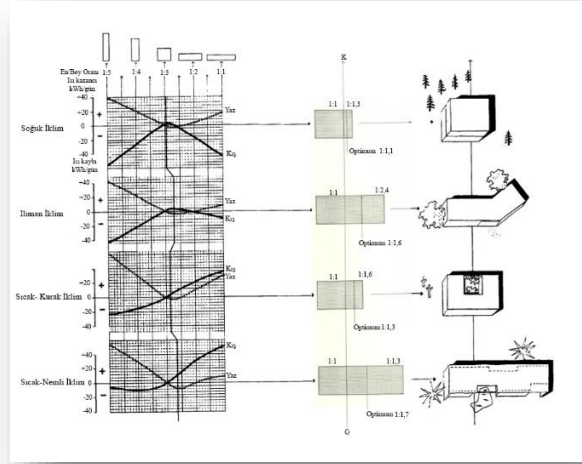
4. SICAK-NEMLİ İKLİMLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE MİMARİ FORM: LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

Sıcak-nemli iklim bölgeleri, yıl boyunca yüksek sıcaklık ve bağıl nem değerlerinin görüldüğü iklim kuşakları arasında yer almaktadır. Bu iklimlerde iç mekanlarda oluşan aşırı ısı birikimi ve yüksek nem düzeyi, kullanıcı konforunu olumsuz etkileyebilmekte ve soğutma enerjisi gereksinimini artırabilmektedir. Bu nedenle enerji verimliliğine yönelik tasarım kararlarında doğal havalandırmanın desteklenmesi, güneş kazançlarının kontrol edilmesi ve iklim koşullarına uygun yapı formlarının geliştirilmesi önem kazanmaktadır. (Dörter, 1994; Koca, 2006; Ünsal, 2012; Türkteş, 2014; Yüksel, 2019; Uşma ve Akıncı, 2022; Uşma ve Sökmen Kök, 2025).

Yapılarda enerji verimliliği ve iklime duyarlı tasarım konuları uzun yıllardır araştırılmaktadır. Bu alandaki temel çalışmalar, iklim koşullarının mimari tasarım kararları üzerindeki etkisini ortaya koyan Olgyay (1963), Givoni (1969) ve Watson'ın (1989; 1993) çalışmalarıdır. Araştırmacılar, enerji etkin yapı tasarımında iklim verilerinin dikkate alınması gerektiğini vurgulamış; yapı yönelişi, doğal havalandırma, güneş kontrolü ve yapı formu gibi tasarım değişkenlerinin enerji performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur.

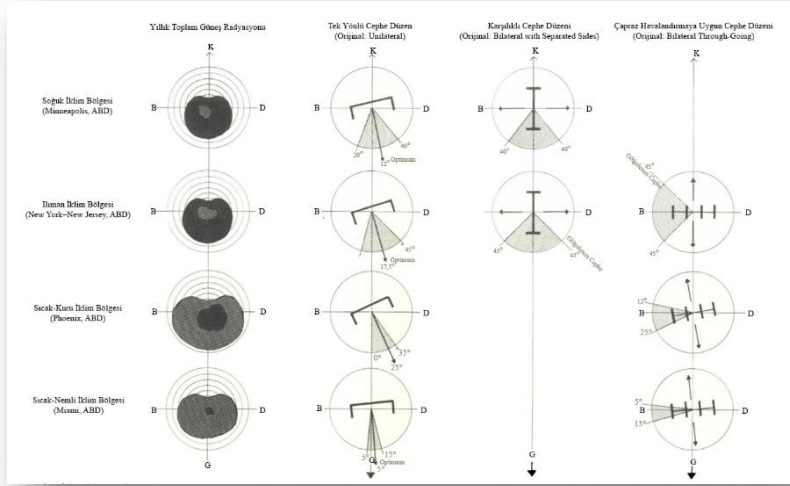
Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, sıcak-nemli iklim bölgelerine yönelik enerji etkin yapı tasarımında belirli form parametrelerinin öne çıktığı görülmektedir. Bu kapsamda yapı yönelişi, plan geometrisi, plan oranı, mekan organizasyonu, yapı-zemin ilişkisi ve yüzey alanı/hacim oranı enerji performansını etkileyen temel tasarım değişkenleri olarak değerlendirilmektedir.

- Plan geometrisi: Sıcak-nemli iklim bölgelerinde dikdörtgen plan şemalarının tercih edilmesi önerilmektedir (Olgyay, 1962; Uzun, 1997; Taştemir, 2020; Atalay, 2025) (Görsel 6).
- Plan oranı: Yaklaşık 1:1,3–1:1,7 oranlarında uzun ve dar yapı formlarının doğal havalandırmayı desteklediği belirtilmektedir (Olgyay, 1963; Uzun, 1997; Cengizoğlu Başaran, 2021) (Görsel 6).



Görsel 6. İklim Bölgelerine Göre Önerilen Yapı Formları ve Plan Oranları [Olgyay (1963)'den uyarlanmıştır.]

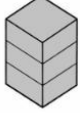
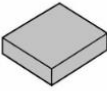
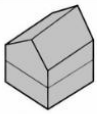
- Yapı yönelişi: Sıcak-nemli iklim bölgelerinde doğal havalandırmadan yararlanılması amacıyla, uzun cephelerin hakim rüzgar yönüyle uyumlu biçimde konumlandırılması; dar cephelerin ise güneş ışınlamından kaynaklanan ısı kazançlarının sınırlandırılması amacıyla doğu ve batı yönlerine yerleştirilmesi önerilmektedir (Olgyay, 1963; Koca, 2006; Türkteş, 2014; Yüksel, 2019; Atalay, 2025).



Görsel 7. İklim Bölgelerine Göre Yapı Yönlenmesi ve Cephe Düzeni İlkeleri [Olgyay (1963)'den uyarlanmıştır.]

- Mekan organizasyonu: Mekanların doğu-batı doğrultusunda sıralanması ve karşılıklı açıklıklarla doğal hava akışının desteklenmesi önerilmektedir (Koca, 2006; Türkteş, 2014).
- Yapı-zemin ilişkisi: Yapının zemin kotundan yükseltilmesi ve hava akışına izin verilmesi önerilmektedir (Watson, 1989; Ünsal, 2012; Atalay, 2025).

- Yüzey alanı/hacim oranı: Düşük yüzey alanı/hacim oranına sahip yapıların enerji performansı açısından avantaj sağlayabileceği belirtilmektedir (Depecker vd., 2001; AlAnzi vd., 2008; Parasonis vd., 2012) (Görsel 8)

	TOPLAM HACİM = 32.000 m ³ TOPLAM YÜZEY ALANI = 5.039 m ² 3. KAT ALANI = 1.007 m ² 2. KAT ALANI = 1.007 m ² TABAN ALANI = 1.007 m ² TOPLAM KAT ALANI = 3.021 m ²	YÜZEY ALANI / HACİM ORANI = 0,157 KAT ALANI ORANI = 5,0 = 1,67
	TOPLAM HACİM = 32.000 m ³ TOPLAM YÜZEY ALANI = 5.429 m ² KAT ALANI = 3.200 m ²	YÜZEY ALANI / HACİM ORANI = 0,170 KAT ALANI ORANI = 1,7
	TOPLAM HACİM = 32.000 m ³ TOPLAM YÜZEY ALANI = 4.754 m ² ÜST KAT ALANI = 1.350 m ² TABAN ALANI = 1.350 m ² TOPLAM KAT ALANI (ÇATI KATI DAHİL) = 2.700 m ²	YÜZEY ALANI / HACİM ORANI = 0,148 KAT ALANI ORANI = 1,76
	TOPLAM HACİM = 32.000 m ³ TOPLAM YÜZEY ALANI = 3.864 m ² ÜST KAT ALANI = 1.618 m ² TABAN ALANI = 1.932 m ² TOPLAM KAT ALANI = 3.550 m ²	YÜZEY ALANI / HACİM ORANI = 0,120 KAT ALANI ORANI = 2,0 = 1,09
	TOPLAM HACİM = 32.000 m ³ TOPLAM YÜZEY ALANI = 4.435 m ² ÜST KAT ALANI = 1.600 m ² TABAN ALANI = 1.600 m ² TOPLAM KAT ALANI = 3.200 m ²	YÜZEY ALANI / HACİM ORANI = 0,138 KAT ALANI ORANI = 2,77 = 1,38
	TOPLAM HACİM = 32.000 m ³ TOPLAM YÜZEY ALANI = 4.800 m ² ÜST KAT ALANI = 1.600 m ² TABAN ALANI = 1.600 m ² TOPLAM KAT ALANI = 3.200 m ²	YÜZEY ALANI / HACİM ORANI = 0,150 KAT ALANI ORANI = 3,0 = 1,50

Görsel 8. Yapı Formunun Yüzey Alanı/Hacim Oranı Üzerindeki Etkisi (Watson, (1989)'dan uyarlanmıştır.)

5. SONUÇ

Literatürde yer alan çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, enerji verimliliğinin sürdürülebilir kampüs yaklaşımının temel bileşenlerinden biri olduğu ve kampüs performansının çevresel, sosyal, ekonomik ve yönetsel boyutları birlikte ele alan bütüncül değerlendirme sistemleriyle izlenmesi gerektiği görülmektedir. Bu doğrultuda geliştirilen değerlendirme sistemleri, enerji verimliliğinin yalnızca işletme ve teknik sistemlerle değil, planlama ve tasarım kararlarıyla birlikte ele alınmasının önemini ortaya koymaktadır.

Bu kapsamda gerçekleştirilen literatür incelemesi, sıcak-nemli iklim bölgelerinde enerji verimli yapı tasarımına yönelik önerilerin büyük ölçüde ortak mimari form ilkeleri etrafında şekillendiğini göstermektedir. Doğu-batı doğrultusunda gelişen uzun ve dar plan geometrisinin, doğal havalandırmayı destekleyen mekânsal organizasyonun, yapının zemin kotundan yükseltilmesinin ve düşük yüzey alanı/hacim oranının enerji performansını olumlu yönde etkileyen temel tasarım ilkeleri olduğu vurgulanmaktadır.

Sonuç olarak, iklim koşullarına uygun mimari form kararlarının kampüs yapılarında enerji verimliliğinin artırılmasında önemli bir rol üstlendiği değerlendirilmektedir. Çalışma

kapsamında literatürde öne çıkan tasarım ilkeleri sistematik biçimde bir araya getirilerek, sıcak-nemli iklim bölgelerindeki kampüs yapılarının enerji performansının değerlendirilmesine yönelik kuramsal bir çerçeve oluşturulmuştur.

KAYNAKÇA

Alanzi, A. A., Seo, D. ve Krarti, M., *Impact of Building Shape on Thermal Performance of Office Buildings in Kuwait*, *Energy Conversion and Management*, 50(3), 822-828, 2009.

Alaybaşı, N., *Sıcak Kuru İklim Bölgelerinde Enerji Korunumu Açısından Bina Dış Kabuğu Alternatiflerinin Bina Formuna Bağlı Olarak Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimi ve Teknoloji Enstitüsü, İstanbul, 2003.

Atalay, F., Sıcak Nemli İklim Bölgeleri için Enerji Verimli Konut Tasarımı Önerisi, *Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences*, 11(1), 1-12, 2025

Bayraktar, M., *A Methodology for Energy Optimization of Buildings Considering Simultaneously Building Envelope, HVAC and Renewable System Parameters*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimi ve Teknoloji Enstitüsü, İstanbul, 2015.

Bilgili, M. Y. ve Topal, A., *Sürdürülebilir Yükseköğretim Kurumları Oluşturulmasında Talloires Deklarasyonunun Rolü ve Önemi*, *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi*, 11(2), 417-424, 2021.

Caeiro, S., Sandoval Hamón, L. A., Martins, R. ve Bayas Aldaz, C. E., *Sustainability Assessment and Benchmarking in Higher Education Institutions—A Critical Reflection*, *Sustainability*, 12(2), 543, 2020.

Cengizoglu Başaran, F. P., *Bina Morfolojisi ve Enerji Etkin Mimari Tasarımda Güneş Enerjisi Kazanımı Bağlamında Optimum Form Analizleri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2021.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, *Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (nSEB) Ulusal Tanımı ve Uygulama Esasları*, Ankara, 2022.

Depecker, P., Menezo, C., Virgone, J. ve Lepers, S., *Design of Buildings Shape and Energetic Consumption*, *Building and Environment*, 36, 627-635, 2001.

Dikmen, Ç. B., *Enerji Etkin Yapı Tasarım Ölçütlerinin Örneklenmesi*, *Politeknik Dergisi*, 14(2), 121-134, 2011.

Doocy, L. E., Zarmehr, A. ve Kider Jr., J. T., *A Critical Review of the Effectiveness of the Sustainability Tracking, Assessment & Rating System (STARS) Framework on Campus Sustainability*, *Proceedings of the 17th IBPSA Conference*, Bruges, Belgium, 629–635, 2021.

Dörter, C. H., *Konutlarda Isıtma Enerjisi Korunumu Amaçlı Mimari Tasarıma Yön Verici İlkelerin ve Çözümlerin Belirlenmesinde Bir Yaklaşım Araştırması*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994.

Givoni, B., *Man, Climate and Architecture*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1969.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), *Enerji Verimliliği Strateji Belgesi ve Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı*, Ankara, 2024.

Erell, E., Portnov, B. A. ve Etzion, Y., *Mapping the Potential for Climate-Conscious Design of Buildings*, Building and Environment, 38(2), 271-281, 2003.

European Commission, *A Renovation Wave for Europe – Greening Our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives*, Brussels, 2020.

European Commission, *The European Green Deal*, Brussels, 2019.

European Parliament and Council, *Directive 2002/91/EC on the Energy Performance of Buildings*, Official Journal of the European Union, Brussels, 2002.

European Parliament and Council, *Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings (Recast)*, Official Journal of the European Union, Brussels, 2010.

European Parliament and Council, *Directive (EU) 2024/1275 on the Energy Performance of Buildings (Recast)*, Official Journal of the European Union, Brussels, 2024.

Hestnes, A. G., *Building Integration of Solar Energy Systems*, Solar Energy, 67(4-6), 181-187, 1999.

Koca, Ö., *Sıcak Kuru ve Sıcak Nemli İklim Bölgelerinde Enerji Etkin Yerleşme ve Bina Tasarım İlkelerinin Belirlenmesine Yönelik Yaklaşım*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

Koç, E. ve Şenel, M. C., *Dünyada ve Türkiye'de Enerji Durumu – Genel Değerlendirme*, Mühendis ve Makina Dergisi, 54(639), 32-44, 2013.

Mahmoud, Z., *Sürdürülebilir Yeşil Kampüs - UI GreenMetric - Osmanbey Yerleşkesi Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2024.

Olgyay, V., *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, Princeton University Press, Princeton, 1963.

Parasonis, J., Keizikas, A. ve Kalibatienè, D., *The Relationship Between the Shape of a Building and Its Energy Performance*, Architectural Engineering and Design Management, 8(4), 246–256, 2012.

Resmî Gazete, Enerji Verimliliği Kanunu (Kanun No: 5627), Sayı: 26510, Ankara, 2007.

Resmî Gazete, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Sayı: 27075, Ankara, 2008.

Resmî Gazete, Paris Anlaşmasının Onaylanması Uygun Bulunduğuna Dair Kanun (Kanun No: 7335), Sayı: 31619, Ankara, 2021.

Resmî Gazete, *Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik*, Sayı: 32936, Ankara, 24 Haziran 2025.

Robitu, M., Musy, M., Inard, C. ve Groleau, D., *Modeling the Influence of Vegetation and Water Pond on Urban Microclimate*, Solar Energy, 80(4), 435-447, 2006.

Sarıkoç, C., *UI GreenMetric'li (Dünya Üniversite Sürdürülebilirlik Sıralaması) Üniversitelerde Enerji ve İklim Değişikliği Uygulamaları: Türkiye Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2023.

Taştemir, İ. A., *Farklı İklim Bölgelerinde Yapı Kabuğunda Isıl Kütlenin Bina Enerji Etkinliğine ve Isıl Konforuna Olan Etkisi*, Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020.

Türktaş, M. H., *Sıcak Nemli İklim Bölgesi İçin İklimsel Tasarım Parametrelerinin Isıl Performansa Etkisini Değerlendirme: Bir Konut Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.

UNESCO, *Education for Sustainable Development: A Roadmap*, UNESCO, Paris, 2020.

UNESCO, *World Conference on Higher Education: Higher Education in the Twenty-First Century – Vision and Action*, UNESCO, Paris, 1998.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), *United Nations Framework Convention on Climate Change*, United Nations, New York, 1994.

United Nations, *Paris Agreement*, United Nations, Paris, 2015.

United Nations, *Report of the United Nations Conference on Environment and Development (Rio de Janeiro, 3–14 June 1992)*, United Nations, New York, 1993.

United Nations, *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, United Nations, New York, 2015.

Umaroğulları, F. ve Cihangir, C., *Toplu Konutların İklimsel Konfor Tasarım Parametrelerine Göre Değerlendirilmesi: Ilıman Nemli İklim Bölgesi: Edirne Binevler (1. Kısım) Konut Yapı Kooperatifi Örneği*, Mimarlık ve Yaşam Dergisi, 4, 105-122, 2019.

Urbanski, M. ve Leal Filho, W., *Measuring Sustainability at Universities by Means of the Sustainability Tracking, Assessment and Rating System (STARS): Early Findings from STARS Data*, Environment, Development and Sustainability, 17(2), 209-220, 2015.

Uşma, G., Akıncı, N.F., *Developing a model for user satisfaction assessment in energy efficient dwellings. ACE Architecture City and Environment*, 17, 10515. 2022. <https://doi.org/10.5821/ace.17.49.10515>.

Uşma, G., *Enerji Etkin Konutlarda Kullanıcı Memnuniyetinin Değerlendirilmesine Yönelik bir Model Geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2021.

Uşma, G., Sökmen Kök, D., The Influence of Hot and Humid Climate Data on Modern Architectural Façade Design: A Case Study of Educational Buildings in Adana, Türkiye. *Buildings*, 15, 1939, 2025. <https://doi.org/10.3390/buildings15111939>

Uşma, G., User satisfaction in multi-storey energy-efficient housing: Implementation of an evaluation model. *Grağevinar*, 77, 237–258, 2025. <https://doi.org/10.14256/JCE.4107.2024>.

Uzun, T., *Mimari Tasarıma Ekolojik Yaklaşım: Adana'da Bir Tasarım Denemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1997.

Ünsal, B., *Bir TOKİ Konut Örneğinde Isıtma ve Soğutma Enerji Yüklerinin Farklı İklim Bölgelerine Bağlı Olarak Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.

Yağlıca, A. Ö., *Enerji Verimliliği Bağlamında Yapı Tasarım Kriterleri ve Yeşil Bina Sertifikalandırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2022.

Yıldız, M. B., *Sürdürülebilir Kampüs Tasarımı Kapsamında Enerji Etkin Yaklaşımlar: Dokuz Eylül Üniversitesi Örneğinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Kentsel Tasarım Programı, İzmir, 2024.

Yüksel, Ç. Y., *Sıcak-Nemli İklim Bölgesinde Açıklık ve Çatı Tipinin Enerji Verimliliğine Etkisi, Adana Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2019.

Watson, D., *Bioclimatic Design Research, Advances in Solar Energy: An Annual Review of Research and Development*, Cilt 5, Plenum Press, New York, 402-438, 1989.

Watson, D. ve Labs, K., *Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices*, McGraw-Hill, New York, 1993.

TERMAL TURİZM TESİSLERİNİN ÖNEMİ VE PEYZAJ TASARIM KRİTERLERİ: YALOVA TERMAL KAPLICALARI ÖRNEĞİ

İbrahim KARABULUT

Bartın Üniversitesi Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü
ibrahimkarabulut010@gmail.com, 0009-0005-3895-092X

Prof. Dr. Nurhan KOÇAN

Bartın Üniversitesi Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü
nkocan@bartin.edu.tr, 0000-0001-9433-7007

ÖZET

İnsanlar tarih boyunca ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla önce yakın çevrelerine, zamanla daha uzak bölgelere seyahat etmişlerdir. Başlangıçta askeri, dini ve ticari amaçlarla yapılan bu yolculuklar; 20. yüzyılda sanayileşme, gelir artışı, boş zamanın çoğalması ve toplumsal etkileşimin gelişmesiyle turizmi ekonomik ve sosyokültürel bir olguya dönüştürmüştür. Termal turizm, dünyada ve Türkiye’de gelişimini sürdüren, alternatif turizm kapsamında yer alan ve çoğunlukla sağlık turizmiyle ilişkilendirilen bir alandır. Bunun temel nedeni, termal tesislerin ziyaretçilere sağlık hizmeti sunmasıdır. Bu turizm türü; bireylerin sağlıklarını korumak veya iyileştirmek amacıyla doğal termal kaynaklara sahip tesislere giderek kür uygulamalarından yararlanması ve konaklama, yeme-içme, dinlenme gibi ihtiyaçlarını karşılamasını kapsar. Termal turizmin hastalıktan korunma, tedavi sonrası iyileşme ve genel sağlık düzeyinin korunmasına yönelik uygulamaları içermektedir. Türk toplumunda tarihsel olarak var olan banyo ve kaplıca kültürü de bu tercihleri destekleyen önemli bir unsurdur. Bu çalışmada turizm ve termal turizm kavramları tanımlanmış; Dünyada ve Türkiye’deki durumu incelenmiştir. Termal turizm tesislerinde tasarımı etkileyen faktörler Yalova Termal Kaplıcaları örneğinde değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Turizm, rekreasyon, termal turizm, peyzaj tasarımı, Yalova

THE IMPORTANCE OF THERMAL TOURISM AND LANDSCAPE DESIGN CRITERIA: AN EXAMPLE OF THE YALOVA THERMAL SPA

Throughout history, people have traveled to meet their needs, initially to their immediate surroundings, and over time to more distant regions. Initially undertaken for military, religious, and commercial purposes, these journeys transformed into a socio-cultural phenomenon in the 20th century with industrialization, increased income, greater leisure time, and improved social interaction. Thermal tourism is a developing field both globally and in Turkey, falling under

the category of alternative tourism and often associated with health tourism. The main reason for this is that thermal facilities offer health services to visitors. This type of tourism involves individuals visiting facilities with natural thermal springs to benefit from therapeutic treatments, maintain or improve their health, and meet their needs such as accommodation, food and drink, and relaxation. Thermal tourism includes practices aimed at disease prevention, post-treatment recovery, and maintaining overall health. The historically existing bathing and spa culture in Turkish society is an important factor supporting these preferences. The study defines the concept of thermal tourism and examines its status worldwide and in Turkey. Factors influencing the design of thermal tourism facilities have been evaluated using the Yalova Thermal Spa as an example. It is believed that the evaluations and recommendations made in the study results will have a positive impact on the improvement of the area and the development of tourism.

Keywords: Tourism, recreation, thermal tourism, landscape design, Yalova

1. GİRİŞ

Bu çalışma, Türkiye'nin termal turizm potansiyelini ortaya koyarak bu potansiyelin etkin biçimde değerlendirilmesinin önemini vurgulamayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda çalışma alanı olarak seçilen Yalova Termal Kaplıcaları, sahip olduğu doğal, kültürel ve peyzaj değerlerinin yanı sıra rekreasyonel ve turistik kullanım olanakları bakımından ayrıcalıklı bir konuma sahiptir. Alanın birinci derecede doğal, arkeolojik ve tarihi sit alanı olması ve aynı zamanda Turizm Merkezi statüsü taşıması, çalışmanın bilimsel ve uygulamaya yönelik önemini artırmaktadır.

Çalışmada Yalova Termal Kaplıcalarının küresel ölçekte tanınırlığının artırılması, kaynakların sürdürülebilir kullanımının sağlanması ve gelecek nesillere aktarılmasına yönelik yol gösterici bir yaklaşım sunulması amaçlanmaktadır.

Termal turizmin yıl boyunca hizmet sunabilmesi, artan yaşam standartları, nüfusun yaşlanması ve sağlık odaklı turizm talebinin yükselmesi gibi etkenler, termal turizmi giderek daha önemli bir konuma taşımaktadır. Bu bağlamda, doğal, tarihi ve jeotermal kaynaklar bakımından zengin olan Türkiye'de termal turizm, turistik ürün çeşitlendirme stratejisinin önemli bir unsuru olarak değerlendirilmektedir. Tarihsel süreçte Hititlerden Roma ve Bizans dönemlerine kadar uzanan kullanımıyla en eski turizm türlerinden biri olan termal turizm, günümüzde de ekonomik kalkınmayı destekleyen, bölgesel gelişmişlik farklarının azaltılmasına katkı sağlayan bir alan olarak önemini sürdürmektedir.

1.1. Turizm ve Termal Turizm Kavramları

Turizm; insanların boş vakit değerlendirme veya rekreasyon amaçlı konaklamaları ve seyahatlerini konu alır. Termal turizm, mineral içeriği bulunan sıcak su ve çamurların, bulunduğu bölgenin çevre ve iklim koşullarıyla birlikte, uzman hekim gözetiminde; fizik

tedavi, rehabilitasyon, egzersiz ve kür uygulamaları gibi destekleyici yöntemlerle sağlık amacıyla kullanılmasına dayanan turizm faaliyetidir (Hemidov, 2012; Gül, 2015).

Termal turizm doğal jeotermal kaynakların içme veya dış uygulamalarla belirli sürelerle değerlendirilmesi için yapılan seyahatleri ve bu süreçte ortaya çıkan konaklama ve hizmetleri kapsayan çok yönlü bir yapıya sahiptir (Bulut ve Girgin, 2001; Çelik, 2001; Öztürk ve Yazıcıoğlu, 2002; Erdoğan ve Aklanoğlu, 2008; Karamustafa vd., 2009; Belkayalı, 2009). Bu nedenle termal turizm, sağlık hizmetlerinin yanı sıra konaklama, yeme-içme ve rekreasyon olanaklarını da içermektedir (Özbek, 1991).

Termal suların yaklaşık 10 bin yıldır sağlık ve tedavi amaçlı kullanıldığı bilinmektedir. 18–20°C'nin üzerindeki ve mineral içeriği zengin jeotermal sular; temizlik, dinlenme ve tedavi amacıyla değerlendirilmekte ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri genel olarak kabul görmektedir. Termal kaynaklara verilen önem, günümüzden yaklaşık 2000–2500 yıl öncesine ait mimari kalıntıların İspanya'dan Suriye'ye, İngiltere'den Kuzey Afrika'ya kadar geniş bir coğrafyaya yayılmış olmasından anlaşılmaktadır (Kozak, 2012). Antik dönemde Mısırlıların da bu sulardan yararlandığı bilinmektedir (Ergani, 1987). Hipokrat ise önceki bilgileri derleyerek kendi gözlemleriyle birleştirmiş ve doğal mineralli suların hastalıkların tedavisinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu bilgiler, M.Ö. 400'lü yıllarda İstanköy'de kurulan tıp okulunda sistemli şekilde incelenmiştir (Haddad, 1989). Roma döneminde ise şifalı suların kullanımı daha sistemli hale gelmiş; özellikle yaralı ve yorgun askerlerin bu sulardan fayda gördüğünün anlaşılmasıyla kaplıcalar yaygınlaşmıştır (Üçpınar, 2013; Gül, 2015). 18. yüzyılda ise Bath, Baden-Baden, Aix-les-Bains ve Spa gibi kaplıcalar Avrupa'da önemli merkezler haline gelmiştir (İnce, 2000).

Kuzey Hindistan'da yöneticilerin sıcak ve nemli dönemlerde daha serin bölgelere gitmesi, İranlıların benzer nedenlerle şehir değiştirmesi ve Yunanlıların hastalarını Asklepion adı verilen kutsal tedavi merkezlerine göndermesi bu duruma örnektir. Rönesans'tan itibaren Avrupa'da kaplıcalar gelişmiş, özellikle 18. yüzyılda aristokrasinin ilgisini çekerek Baden-Baden, Marienbad ve Montecatini gibi merkezler öne çıkmıştır. Zamanla su tedavileri daha bilimsel bir temele oturtulmuş ve bazı ülkelerde bu uygulamalar ulusal sağlık sistemlerine dâhil edilmiştir (Aslıhak, 1998; Kervankıran, 2014; Gül, 2015).

Anadolu'da termal su kaynaklarının kullanımı, Hititler, Frigler ve Helenler dönemine kadar uzanmakta olup, söz konusu kaynaklardan sağlık amaçlı yararlanıldığı bilinmektedir. Ancak kaplıcaların sistematik ve kurumsal bir çerçevede değerlendirilmesi Roma döneminde gerçekleşmiş, Bizanslılar tarafından da bu gelenek sürdürülmüştür (Kozak, 2006). Selçuklular ile birlikte Orta Asya'dan Anadolu'ya taşınan temizlik ve yıkanma kültürü, İslamiyet'in hijyen anlayışı ile birleşerek "Türk hamamı" geleneğini ortaya çıkarmış; Osmanlı döneminde ise kaplıca kültürü geliştirilerek balneoloji alanında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

Cumhuriyet döneminde modern kaplıca tesisleri ilk kez 1927'de Bursa'da kurulmuş, ardından Yalova ve Çelikköy kaplıcalarıyla gelişim devam etmiştir. Atatürk'ün öncülüğünde 1933

yılında İstanbul Üniversitesi'nde balneoloji kürsüsünün kurulmasıyla birlikte şifalı sular bilimsel olarak incelenmiş ve Yalova Kaplıcaları örnek bir tedavi merkezi haline getirilmiştir (Şimşek, 2003; Kozak, 2006; Mercan, 2006; Özbek, 2011; Gül, 2015).

Termal turizme olan ilgi, son yıllarda çeşitli faktörlerin etkisiyle önemli ölçüde artmıştır. İnsan sağlığına verilen önemin yükselmesi, turizmden beklentilerin değişmesi ve özellikle Avrupa'daki yaşlı nüfusun artışı bu ilginin başlıca nedenleri arasındadır. Ayrıca termal turizmin yıl boyunca yapılabilmesi, tedavi süreçlerinin uzun süreli olması ve bireylerin kimyasal içerikli tedavilere alternatif arayışları da bu alana yönelimi artırmaktadır. Yüksek gelir grubuna hitap etmesi, uzun konaklama süreleri gerektirmesi ve sürekli tedavi ihtiyacı doğurması nedeniyle termal turizm, yatırımcılar açısından da cazip bir alan haline gelmiştir (Mercan, 2006).

Dünya genelinde bazı ülkeler termal turizm alanında öne çıkmakta olup, Avrupa'daki tesisler her yıl çok sayıda uluslararası ziyaretçiyi ağırlamaktadır. Özellikle Macaristan, İtalya, Fransa ve Almanya bu alanda tercih edilen başlıca ülkeler arasında yer almaktadır. Macaristan'ın başkenti Budapeşte, termal turizmin önemli merkezlerinden biri olarak kabul edilmekte ve köklü bir geçmişe sahiptir. Dünyanın ilk kaplıca hastanesinin 1178 yılında bu ülkede kurulmuş olması dikkat çekicidir. Ülkede her gün büyük miktarda termal su yüzeye çıkmakta ve bu durum termal turizmin gelişimini desteklemektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Budapeşte'de Termal Merkezler (URL-1, 2017)

Türkiye önemli bir jeotermal kuşak üzerinde yer aldığı için sahip olduğu kaynak potansiyeli açısından dünya genelinde önde gelen ülkeler arasındadır. Jeotermal enerji; elektrik üretimi, ısıtma ve çeşitli termal uygulamalarda kullanılabilmekte olup, özellikle termal turizm tesislerinde önemli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Ülkede sıcaklıkları 20–110°C, debileri ise 2–500 lt/sn arasında değişen 1500'ün üzerinde termal kaynağın bulunması, termal turizmin gelişimi açısından önemli bir potansiyel oluşturmaktadır (URL 4, 2026). Afyonkarahisar (Sandıklı ve Hüdai), Ankara (Kızılcahamam), Balıkesir (Gönen), Bolu (Büyük

merkezlerinin oluşturulmasında bu aşamalar büyük önem taşımakta olup, doğal kaynakların sürdürülebilirliği ve ekonomik verimliliğin sağlanması için planlı bir yaklaşım gereklidir.

Termal turizm tesislerinin doğal çevreyle uyumlu, hijyenik ve işlevsel şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda özellikle termal su kaynaklarının korunması, kirlenmesinin önlenmesi ve bilinçli kullanımı planlamanın öncelikli hedefleri arasındadır. Tesislerinin planlanması, çok disiplinli bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Jeoloji, hidrojeoloji, klimatoloji, tıp, mühendislik, mimarlık ve turizm işletmeciliği gibi farklı alanların birlikte çalışması, bu tesislerin hem sağlık hem de turizm fonksiyonlarını etkin şekilde yerine getirebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu süreçte özellikle mimarlar, disiplinler arası koordinasyonu sağlayarak planlama ve tasarımın bütüncül bir yaklaşımla yürütülmesine katkı sağlamaktadır. Bilimsel temellere dayanan ve aşamalı şekilde ilerleyen planlama çalışmaları, termal turizm bölgelerinde sürdürülebilir ve dengeli bir gelişimin temelini oluşturmaktadır (Güvenç, 2007).

Termal turizm tesislerinin yer seçimi süreci, doğal ve çevresel koşulların ayrıntılı biçimde incelenmesiyle başlamaktadır. Bu kapsamda, bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik yapısı, suyun kimyasal ve fiziksel özellikleri ile hangi hastalıklara iyi geldiği belirlenmelidir (Güvenç, 2007). Ayrıca iklim koşulları da önemli bir belirleyici olup; sıcaklık, nem, yağış, rüzgâr, buharlaşma ve güneşlenme süresi gibi faktörlerin yanı sıra bu verilerin mevsimsel dağılımları da değerlendirilmelidir. Bununla birlikte, planlama sürecinde yerel yönetimlerin belirlediği yasal düzenlemeler ve sınırlamalar da dikkate alınması gereken unsurlar arasındadır (Çınar, 1991).

Termal turizm tesisinin kurulacağı bölgenin sosyo-ekonomik yapısının analiz edilmesi de planlama sürecinin önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Bölgenin ekonomik yapısı, geçim kaynakları, turizmin yerel ekonomi içindeki payı, halkın eğitim düzeyi ve turizme yatkınlığı gibi unsurlar değerlendirilmelidir. Aynı zamanda ulaşım olanakları, doğal çevre özellikleri, bitki örtüsü, rekreasyon alanları ve kültürel-tarihi değerler de analiz edilerek bölgenin turizm potansiyeli ortaya konulmalıdır. Mevcut turizm altyapısı, tesis sayısı, doluluk oranları ve turist profilleri gibi veriler de bu sürecin önemli bileşenlerindendir (Güvenç, 2007).

Tüm bu analiz ve değerlendirmelerin ardından, termal turizm tesisinin planlama ve tasarım aşamasına geçilmektedir. Bu aşamada kür merkezleri, konaklama birimleri, rekreasyon alanları ve diğer sosyal donatıların yer aldığı bütüncül bir yerleşim planı oluşturulmaktadır. Planlama sürecinin bilimsel ve sistematik bir şekilde yürütülmesi, hem doğal kaynakların korunmasını hem de termal turizm merkezlerinin işlevsel, ekonomik ve sürdürülebilir bir şekilde gelişmesini sağlamaktadır (Güvenç, 2007).

Termal turizmde rekreasyonun önem kazanmasında, kür sürelerinin uzun olması ve kullanıcıların boş zamanlarını değerlendirme ihtiyacı etkili olmaktadır. Bu faaliyetler, tedavi sürecini destekleyerek bireylerin fiziksel ve ruhsal iyilik haline katkı sağlamakta, aynı zamanda işletmeler için ek gelir kaynağı oluşturmaktadır (Çevirgen, 1996). Ayrıca termal turizmin diğer turizm türleriyle entegre edilebilmesi ve rekreatif etkinliklerin günümüz yaşamında bir ihtiyaç haline gelmesi, bu alanın gelişimini desteklemektedir. Bu kapsamda termal komplekslerde spor

alanları, yürüyüş parkurları, havuzlar, eğlence mekânları ve alışveriş alanları gibi çeşitli rekreasyon birimleri yer alabilmektedir (Anonim, 2007b).

2. MATERYAL-YÖNTEM

Bu çalışmada, Türkiye’de termal turizmin gelişimi ile termal turizm tesislerinin tasarım kriterleri, Yalova Termal Kaplıcaları örneği üzerinden kuramsal bir çerçevede incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, kaynakların tespiti, incelenmesi ve değerlendirilmesi yapılacaktır; bu süreçte haritalar ve ilgili dokümanlardan yararlanılacaktır.

3. BULGULAR

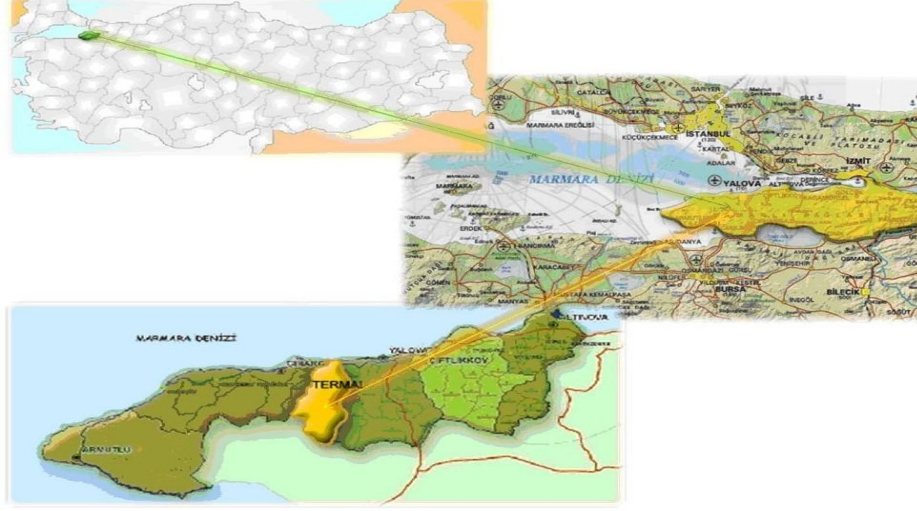
3.1. Çalışma Alanı

Eğimli bir topoğrafya üzerinde konumlanan Yalova Termal Kaplıcaları; konaklama birimleri, yeme-içme mekânları, rekreasyon, dinlenme ve eğlence alanları ile spor tesislerinden oluşan bütüncül bir yerleşim yapısı göstermektedir. Yalova Termal Kaplıcaları, yaklaşık 4000 yıl önce doğal jeolojik süreçler sonucunda oluşan ve yaklaşık 2000 yıldır şifa arayışıyla ziyaret edilen önemli bir termal merkez olarak varlığını sürdürmektedir. Antik dönemde Pitiya (Pythia) olarak adlandırılan alan, günümüzde Yalova Termal ilçesi sınırları içerisinde, iki dağ arasında, zengin bitki örtüsü ile çevrili bir vadi içerisinde konumlanmaktadır. Yaklaşık 3600 dönümlük ormanlık alanı kapsayan bu bölgede ilk hamam yapıları, Bizans İmparatoru Constantinus döneminde inşa edilmiştir.

Osmanlı döneminde Bursa’nın başkent olması ve benzer termal kaynaklara sahip olması, Yalova’nın gelişimini sınırlamıştır. Ancak İstanbul’un fethinden sonra ulaşım yollarının bölgeden geçmesiyle birlikte kaplıcalar yeniden önem kazanmıştır. Özellikle Sultan Abdülmecid ve II. Abdülhamid dönemlerinde kaplıcaların geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmış, bu kapsamda hamamlar, konaklama birimleri ve altyapı unsurları inşa edilmiştir (Kilerci, 2003). Farklı medeniyetler tarafından kullanılan kaplıca alanında Cumhuriyet döneminde Atatürk’ün 1929 yılında gerçekleştirdiği ziyaret sonrasında modern düzenlemeler gerçekleştirilmiştir (Kilerci, 2003; Karagülle ve Doğan, 2002; Göçmez, 2005).

Yalova Termal Kaplıcaları, Türkiye’de birinci derece öncelikli kaplıca merkezleri arasında yer almakta olup, yaklaşık 2200 metre derinlikten elde edilen termal suya sahiptir. Suyun içerdiği mineral bileşenler nedeniyle 1911 yılında Roma’da gerçekleştirilen uluslararası değerlendirmede ödül kazanmıştır. Termal sular; romatizmal ve metabolik hastalıklar başta olmak üzere sindirim sistemi, karaciğer, safra kesesi, böbrek ve idrar yolları rahatsızlıkları, ortopedik operasyon sonrası iyileşme süreçleri, deri ve bazı psikolojik hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır (Anonim, 2009b).

Çalışma alanı olan Yalova Termal Kaplıcaları, Türkiye'nin kuzeybatısında, Marmara Bölgesi'nin güneydoğusunda yer alan Yalova iline bağlı Termal ilçesi sınırları içerisinde konumlanmaktadır. Yalova ilinin kuzey ve batısında Marmara Denizi, doğusunda Kocaeli, güneyinde ise Bursa ili yer almakta olup; Termal ilçesi kuzeyde Marmara Denizi, doğuda İstanbul, güneyde Bursa ve batıda Çınarcık ile çevrelenmektedir. Yalova Termal Kaplıcaları ise yaklaşık 3600 dönümlük ormanlık alan içerisinde, doğal, arkeolojik ve tarihi sit alanı niteliği taşıyan bir bölgede yer almaktadır (Şekil 3, 4) (Göçmez, 2005).



Şekil 3. Termal İlçesi Lokasyon Haritası (Anonim 2007a)



Şekil 4. Yalova ve Yalova Termal Kaplıcaları'nın konumu (Anonim, 2008)

Çalışma alanı olan Yalova Termal Kaplıcalarının bulunduğu Yalova ili; İstanbul, Kocaeli ve Bursa illeri arasında karayolu bağlantısına sahip olup, önemli ulaşım aksları üzerinde yer almaktadır. İl, Ankara, İzmir ve İstanbul gibi büyük merkezlere belirli mesafelerde konumlanmakta; Bursa ve Kocaeli ile olan yakınlığı ulaşım kolaylığı sağlamaktadır (Göçmez,

2005). Termal ilçesine ulaşım ise karayolu ile gerçekleştirilmekte ve il merkezine yaklaşık 12 km mesafede bulunmaktadır (Kilerci, 2003) (Şekil 5).

Denizyolu ulaşımı da Yalova için önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Topçular–Eskihisar hattında arabalı vapur seferleri düzenlenmekte; ayrıca İstanbul Deniz Otobüsleri tarafından Yenikapı, Bostancı, Kartal ve Pendik hatlarından Yalova’ya düzenli seferler yapılmaktadır. Bunun yanı sıra çeşitli vapur hatları ile yolcu taşımacılığı sağlanmaktadır. Yalova’da sivil havaalanı bulunmamakla birlikte, ulaşım olanaklarının çeşitliliği sayesinde Termal Kaplıcalarına erişim kolaylıkla sağlanmaktadır. İl merkezinden kaplıca bölgesine ise minibüs ve taksi gibi araçlarla ulaşım mümkün olmaktadır (Kilerci, 2003).



Şekil 5. Yalova Termal Kaplıcaları uydu görüntüsü (Anonim, 2008)

Termal ilçesi, ılıman ve yağışlı bir iklim özelliği göstermekte olup, Karadeniz iklimi ile karasal iklim arasında geçiş niteliği taşımaktadır. Deniz seviyesinden yaklaşık 105 metre yükseklikte yer alan bölgede yıllık ortalama sıcaklık 14,3°C olarak belirlenmektedir. Yaz aylarında sıcaklık değerleri yükselmekte, özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek sıcaklıklar gözlenmektedir. Kış aylarında ise sıcaklık düşmekte ve don olayları sınırlı sayıda gerçekleşmektedir. Bölgede yıllık güneşlenme süresi yaklaşık 2200–2400 saat arasında değişmekte olup, sisli ve karla örtülü gün sayısı oldukça düşük düzeyde kalmaktadır. Rüzgâr yönü ağırlıklı olarak kuzeybatıdan esmekte ve iklimsel koşullar genel olarak termal turizm faaliyetleri açısından elverişli bir özellik göstermektedir (Karagülle ve Doğan, 2002).

Yalova Termal Kaplıca suları doğal çıkışlı olup, yaklaşık 20 lt/sn debiye ve günlük 3.702 kişi banyo kapasitesine sahiptir. Su sıcaklığı 56–60°C arasında değişmekte, pH değeri ise 7.3–7.6 aralığında bulunmaktadır. Kimyasal bileşimi açısından sodyum, kalsiyum, sülfat ve florür içeren miks termomineral sular sınıfında yer almaktadır (Kilerci, 2003). Söz konusu termal sular, banyo ve içme kürleri için uygun özellikler göstermekte olup; romatizmal hastalıklar başta olmak üzere kalp ve dolaşım sistemi, solunum yolu, kas ve sinir yorgunlukları, böbrek ve

idrar yolu rahatsızlıkları ile bazı metabolik ve göz hastalıklarının tedavisinde destekleyici etki göstermektedir (Akay, 2002).

Termal tesisler bünyesinde yer alan banyolar arasında Valide Banyo ve Kurşunlu Banyo, tarihsel özellikleri ile öne çıkmaktadır. Valide Banyo, Bizans İmparatoru Konstantin tarafından inşa edilmiştir. Osmanlı döneminde Sultan Abdülmecid tarafından onarılmıştır. Kurşunlu Banyo ise Bizans İmparatoru Justinyen döneminde inşa edilmiş ve 1900 yılında II. Abdülhamid tarafından restore edilmiştir (Anonim, 2007c) (Şekil 6-9).



Şekil 6. Yalova Termal Kaplıcaları esas kaynağı (URL-3, 2026)



Şekil 7. Valide Banyo (URL-3, 2026)



Şekil 8. Kurşunlu Banyo (URL-3, 2026)



Şekil 9. Yalova Termal Kaplıcalarında yüzme havuzu (URL-3, 2026)

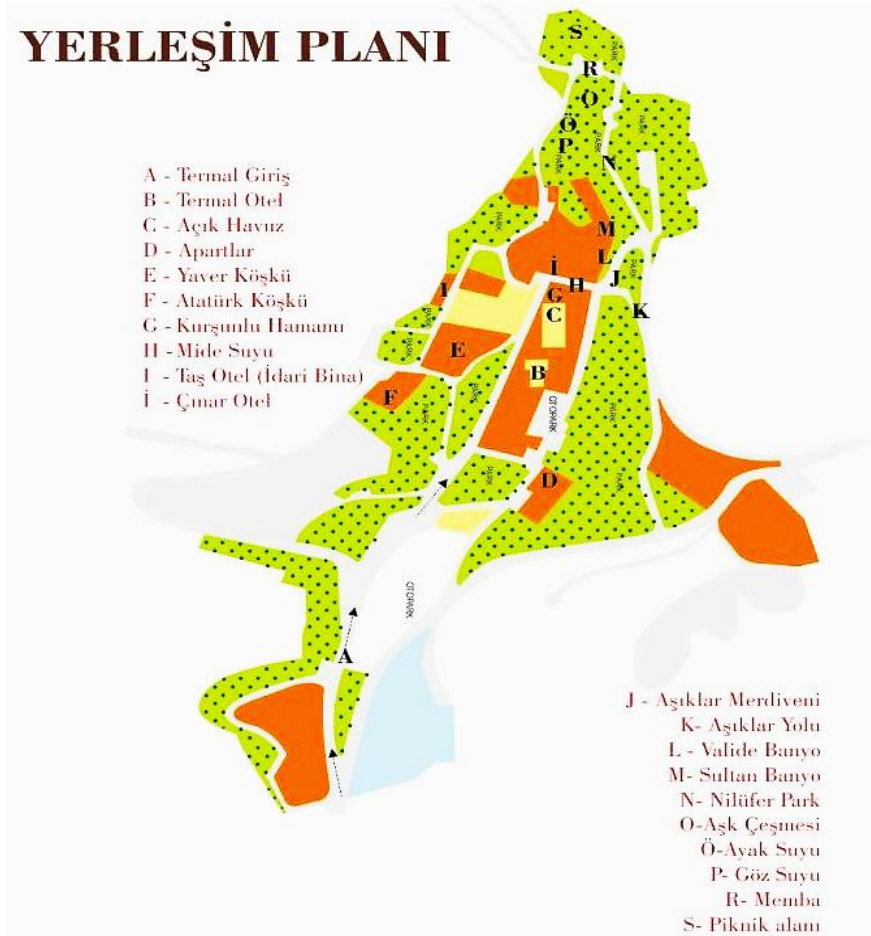
Yalova Termal Kaplıcalarının çevresi, kendine özgü zengin bir orman dokusu ile kaplı olup, alan çeşitli bitki türlerini barındırmaktadır. Bölgede yaprağını dökmeyen ve döken ağaç türleri ile çalı ve yer örtücü bitkilerden oluşan geniş bir bitki çeşitliliği bulunmaktadır. Kaplıca alanı içerisinde yer alan Ferhat Deresi, bölgenin peyzaj değerini artırmakta; ayrıca Üvezpınar Mahallesi yakınlarında bulunan Sudüşen Şelalesi ve 250 metre yükseklikteki Panorama Tepesi, çevrenin doğal çekiciliğini desteklemektedir. Bunun yanı sıra “Üç Kardeşler” olarak adlandırılan mesire alanı, dere ve su çağlayanları ile rekreatif kullanım açısından önem taşımaktadır (Akay, 2002).

Termal Kaplıcaları, kür parkı, yürüyüş yolları, botanik bahçesi ve çay bahçeleri gibi açık alan düzenlemelerinin yanı sıra çeşitli rekreasyon birimlerine de sahiptir. Bu kapsamda sauna, Türk

hamamı, eğlence mekânları, spor ve dinlenme alanları ile açık termal havuz gibi birimler kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır (Kilerci, 2003).

Yalova Termal Kaplıcaları, I. derece doğal, arkeolojik ve tarihi sit alanı içerisinde yer almakta olup, bu durum planlama ve yapılaşma süreçlerinde koruma ilkelerinin esas alınmasını gerektirmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilecek her türlü planlama ve yapılaşma faaliyetinde, ilgili koruma kurulları tarafından belirlenen koşullara uyulması zorunludur.

Yalova Termal Kaplıcaları içerisinde yer alan diğer kullanımların mekansal dağılımı Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 10. Yalova Termal Tesisleri genel yerleşim planı (URL-4, 2026)

Kaynak alanı ve çevresinde yer alan Valide Hamam, Kurşunlu Hamam, Çınar Otel, Büyük Otel, Yaver Köşkü ve Atatürk Köşkü gibi yapılar, İstanbul II Nolu Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun kararı ile tescil edilmiş ve koruma altına alınmıştır (Anonim, 2009a). Ayrıca Atatürk Köşkü, Yaverlik Köşkü ve Valilik Köşkü gibi yapılar ile birlikte mezar taşları, dehlizler ve çeşitli mimari elemanlar, alanın tarihsel ve kültürel değerini ortaya koyan önemli unsurlar arasında yer almaktadır.

Yalova Termal Turizm Merkezi, 2634 sayılı Turizmi Teşvik Kanunu kapsamında "Turizm Merkezi" olarak ilan edilmiş bu karar 06.09.1993 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanarak

yürürlüğe girmiştir. Söz konusu turizm merkezinin alan büyüklüğü yaklaşık 90 hektar olarak belirlenmiştir (Anonim, 2009b).

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Sağlık turizmi, doğal, beşeri ve ekonomik kaynaklara dayanan önemli bir turizm türü olup, bu alandaki gelişim büyük ölçüde söz konusu kaynakların planlı ve sürdürülebilir kullanımına bağlıdır. Türkiye’de sağlık turizminin geliştirilmesi için doğal kaynakların etkin yönetimi kadar, bu kaynakların kullanım biçimini belirleyen sosyo-ekonomik yapının da dikkate alınması gerekmektedir. Bu kapsamda, doğal alanların rekreasyonel ve turizm amaçlı kullanımına ilişkin ekonomik değerlerin belirlenmesi, karar vericilere yön gösterici nitelik taşımaktadır. Yalova Termal Kaplıcalarının sahip olduğu potansiyelin ekonomik ve rekreatif açıdan değerlendirilmesi, bu tür çalışmalar için örnek teşkil etmektedir.

Yalova Termal Kaplıcalarının bulunduğu alan, I. derece doğal, arkeolojik ve tarihi sit statüsünde yer almakta olup, bu durum alanın korunmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, özellikle termal su kaynağının korunması ve kirletici unsurlara karşı gerekli önlemlerin alınması öncelikli bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Alanın değerini oluşturan doğal ve tarihi unsurların korunarak sürdürülebilirliğinin sağlanması, koruma-kullanma dengesinin kurulması açısından önem taşımaktadır.

Termal Kaplıcaların turizm potansiyelinin artırılması için bölgenin bütüncül bir planlama anlayışıyla ele alınması gerekmektedir. Bu doğrultuda, deniz ve doğa turizmi gibi çevresel değerlerle entegrasyon sağlanarak çok yönlü turizm olanakları geliştirilmelidir. Ayrıca, ziyaretçilerin bilinçlendirilmesine yönelik tanıtım ve eğitim faaliyetlerinin artırılması, alanın korunmasına katkı sağlayacaktır. Yalova Termal Kaplıcalarının SPA turizmi açısından sahip olduğu potansiyelin değerlendirilmesi, turizm talebinin yıl geneline yayılmasına da olanak tanıyacaktır.

Bu hedeflerin gerçekleştirilebilmesi için kamu ve özel sektör iş birliği içerisinde, profesyonel bir yönetim anlayışı benimsenmesi gerekmektedir. Altyapı yatırımlarının güçlendirilmesi, tesis standartlarının iyileştirilmesi ve nitelikli personel yetiştirilmesi, termal turizmin gelişimini destekleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Sonuç olarak, Yalova Termal Kaplıcalarının turizm ve sağlık açısından taşıdığı değer artırılabilmesi için kaynakların sürdürülebilir kullanımına dayalı, planlı ve bütüncül bir yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Akay, A. (2002). Kocaeli Depremi Sonrası Yalova İli Gelişim Plan Stratejileri, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.

Anonim. (2007a). 1/25.000 Yalova İli Çevre Düzeni Planı, Yalova Valiliği, Yalova.

- Anonim. (2007b).** Termal Suların Endikasyon (Şifa) Özelliği ve Termal Tesisler, Ege Ekonomiyi Geliştirme Vakfı.
- Anonim. (2007c).** Yalova Termal Kaplıcaları, Sağlık Bakanlığı Yalova Termal Kaplıcaları İşletme İdaresi.
- Anonim. (2008).** Yalova Termal Kaplıcalarının Konumu, Google Earth.
- Anonim. (2009a).** Arkeolojik Sit Alanları, Yalova İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü.
- Anonim. (2009b).** Yalova Termal Kaplıcaları, Yalova İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü.
- Aslıhak, A. (1998).** “Türkiye’de Termal Turizm ve Ankara Haymana Kaplıcası İncelemesi”, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü (Yayımlanmamış) - Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Bastem, S. (1997).** Termal Turizmi ve Erzurum’un Termal Turizm Potansiyeli, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Turizm ve Otelcilik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Belkayalı, N. (2009).** “Jeotermal Enerji Kaynaklarının Sağlık, Turizm ve Rekreasyon Amacıyla Kullanımı ve Ekonomik Değerinin Tespiti: Yalova Termal Kaplıcaları Örneği”, TMMOB Jeotermal Kongresi 23-25 Aralık 2009, Ankara
- Bulut, İ., Girgin M. (2001).** Bingöl Kös Kaplıcalarının Coğrafi Etüdü, Doğu Coğrafya Dergisi, Çizgi Kitapevi, Sayı:5.
- Çelik, S. (2001).** “Termal Turizm İşletmelerinin Yapısı, İşleyişi ve Müşterilerin Rekreasyon Talebi - Sandıklı Hudai Kaplıcası Modeli”, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim ve Organizasyon Anabilim Dalı - Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
- Çevirgen, A. (1996).** “Termal Kür Merkezlerinin Rekreatif Amaçlı Gelişimi ve Örnek Bir Uygulama”, Balıkesir Üniversitesi - (Yayınlanmamış) Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.
- Çınar, İ. (1991).** “Sağlık Turizminde Kaplıca Yapıları”, YTÜ Mimarlık Fak. YL Tezi.
- Erdoğan, E., F. Akınoğlu (2008).** “Termal Turizm ve Afyon - Gazlıgöl Örneği”. e- Journal of New World Sciences Academy Natural and Applied Sciences, Volume: 3, Number: 1, Article Number: A0053, 83-92.
- Ergani, E. (1987).** 25 Mayıs Termal Tesisleri Turizm Merkezi, Mevzi İmar Planı Açıklama Raporu, Ankara, Başbakanlık Basımevi.
- Fıdancı, T. (2002).** “Termal Turizm İşletmelerinde Maliyet Analizi”, Afyon Kocatepe Üniversitesi - (Yayınlanmamış) Doktora Tezi, Afyon.
- Göçmez, D. (2005).** Jeolojik Faktörlerin Kentsel Planlamaya Etkisi: Yalova Termal Yerleşmesi Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir Planlama Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Gül, M. (2015).** “Müşteri Temelli Marka Değerinin Yaratılması ve Termal Turizm Amaçlı Seyahat Eden Turistlerin Marka Algılarının Ölçülmesi: Balçova Örneği”, Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Anabilim Dalı, - Doktora Tezi, Balıkesir.
- Güvenç, C. (2007).** “Türkiye’deki Termal Turizm Tesislerinin Planlama ve Tasarım İlkelerine İlişkin Bir Model Önerisi (Çanakkale Örneği), YTÜ Mimarlık Fak. Doktora Tezi.
- Haddad, K. (1989).** “Türkiye’de Termal Turizmi ve Termal Su şehirlerinde Ana Birimlerin İncelenmesi ”, YTÜ Mimarlık Fak. YL Tezi.

Hemidov, G.Y. (2012). “Avrupa’nın Termal Turizme Olan Talep Analizi ve Türkiye’nin Pazardaki Payı: Haymana ve Balçova Örneği, Kültür ve Turizm Bakanlığı, Dış İlişkiler ve Avrupa Birliği Koordinasyon Dairesi Başkanlığı, - Uzmanlık Tezi, Ankara.

İnce, C. (2000). Turizm İşletmelerinde Rekreasyon, Turhan Kitapevi, Ankara.

Kahraman, N. (1991). “Sağlık Turizmi Kapsamında Kaplıcalarımızın Yeri ve Önemi”, Anatolia Turizm Çevre ve Kültür Dergisi (15-16).

Karagülle, M.Z., Doğan, M.B. (2002). Kaplıca Tıbbı ve Türkiye Kaplıca Rehberi, Nobel Kitapevi, İstanbul.

Karamustafa, K. vd. (2009). “Termal Turizm Açısından Kozaklı İlçesi’nin Rekabetçilik Analizi”, 10.Ulusal Turizm Kongresi 21-24 Ekim 2009, Mersin.

Kervankıran, İ. (2014). “The Sustainable Usage of Geothermal Sources and Their Importance in Tourism in Afyonkarahisar”, Zeitschrift für die Welt der Türken, 6(1), 201-211.

Kilerci, İ. (2003). Kaplıca Yapılarının Mekan Özellikleri, Balçova-Gönen-Yalova Örnekleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Bölümü Bina Bilgisi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Kozak, N. (2006). “Termal Turizm En Sonunda Gelişmeye Başladı” (I), www.turizm gazetesi.com

Kozak, N. (2012). Turizm Endüstrisi, Ünite 4, Genel Turizm Bilgisi (E-kitap) içinde, 1.Baskı, (Edit: Meryem Akoğlu Kozak), T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2472, Eskişehir.

Mercan, Ş.O. (2006). Türkiye’deki Termal Otel İşletmelerinde Hizmet Birim Maliyetlerinin Belirlenmesi ve Maliyet Yönetimi Uygulamalarının Tespitine İlişkin Bir Araştırma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Turizm İşletmeciliği Anabilim Dalı, Çanakkale.

Özbek, T. (1991). “Dünyada ve Türkiye’de Termal Turizmin Önemi”, Anatolia Turizm ve Çevre Dergisi, Yıl 2 (17-18).

Özbek, T. (2011). “Ülkemizde Jeotermalin Günümüze Kadarki Tarihsel Gelişimi ve Kurumlar ile Sektörlerin Değerlendirilmesi”, Jeotermal, Yıl: 2 (4), Ekim-Aralık.

Öztürk, Y., Yazıcıoğlu, İ. (2002). “Gelişmekte Olan Ülkeler İçin Alternatif Turizm Faaliyetleri Üzerine Teorik Bir Çalışma”, Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi, Sayı.2, Ankara.

Sandıkçı, M. (2008). “Termal Turizm İşletmelerinde Sağlık Beklentileri ve Müşteri Memnuniyeti”, (Yayınlanmamış – Doktora Tezi) Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyonkarahisar.

Şimşek, M. (2003). Şifalı Sulara Yolculuk–Kaplıcalar–İçmeler, 2.Basım, İnkılap Kitapevi, İstanbul.

Üçpınar, G. (2013). “Sağlık Hizmetleri Pazarlaması Sağlık ve Termal Turizm”, Beykent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Yönetimi Anabilim Dalı, Hastane ve Sağlık Kurumları Yönetimi Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

URL-1 (2017). <http://www.ucakbileti.com/blog/budapestenin-muhtesem-spalari>

URL-2 (2017). <http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita>

URL-3 (2026). <https://www.yalovatermal.com>

URL-4 (2026).

<https://www.facebook.com/YalovaTermalKaplıcalari/photos/d41d8cd9/1869315849745226/>

BUNGALOV TİPİ KAMPİNG ALANLARI KULLANIM PLANLAMASI VE BARTIN KENTİ UZUNÖZ MEVKİ İÇİN BİR ÖNERİ

Emirhan GÜNEŞ

Bartın Üniversitesi Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi

Peyzaj Mimarlığı Bölümü

emirhan_201026@outlook.com, 0009-0001-2739-2070

Emirhan ÖZSUVEREN

Bartın Üniversitesi Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi

Peyzaj Mimarlığı Bölümü

emirhannozsuveren@gmail.com, 0009-0003-9335-6849

Prof. Dr. Nurhan KOÇAN

Bartın Üniversitesi Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi

Peyzaj Mimarlığı Bölümü

nkocan@bartin.edu.tr, 0000-0001-9433-7007

ÖZET

Sanayi ve kentleşme ile başlayan süreçte, insan yaşamı kırdan kente doğru yönelmiş; bu dönüşüm özellikle 1950’li yıllardan sonra tüm dünyada hız kazanmıştır. Ancak insan, doğası gereği doğal ve doğala yakın çevrelerde daha sağlıklı ve mutlu bir yaşam sürdürebilmektedir. Bu nedenle insanlar, yaşam alanlarını tamamen doğa içerisinde kuramaları bile, dinlenme ve rekreasyon ihtiyaçlarını doğal ortamlarda karşılamayı tercih etmektedir. Özellikle tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 salgını sürecinde kent insanı yaklaşık iki yıl boyunca kapalı ve sosyal açıdan izole ortamlarda yaşamını sürdürmek zorunda kalmıştır. Bu süreç, doğanın ve açık alanların önemini daha belirgin hale getirmiş; bireyler ekonomik açıdan daha ulaşılabilir, aynı zamanda psikolojik ve fiziksel açıdan daha tatmin edici rekreasyon türlerine yönelmiştir. Bu kapsamda kamp etkinliklerine olan ilgi artmış, kamp alanlarının planlanması ve tasarlanması önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir. Bu çalışmada, kamping türlerinden biri olan bungalow tipi kamp alanlarının önemi ele alınmış; örnek çalışma alanı olarak Bartın Kenti Uzunöz Mevkii’nde belirlenen bir alanda bungalow kamping alanı tasarlanmıştır. Tasarım sürecinde bilgisayar destekli çizim programlarından yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda ortaya konulan uygulama çizimlerinin benzer alanlar için örnek teşkil edebileceği ve farklı alanlarda prototip olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kamping, rekreasyon, bungalov, kamp alanı planlama ve tasarımı
**PLANNING OF BUNGALOW-TYPE CAMPING AREAS AND
A PROPOSAL FOR UZUNOZ AREA IN BARTIN CITY**

With the onset of industrialization and urbanization, human life shifted from rural to urban areas; this transformation accelerated worldwide, particularly after the 1950s. However, humans, by nature, can lead healthier and happier lives in natural and near-natural environments. Therefore, even if people cannot completely establish their living spaces within nature, they prefer to meet their needs for rest and recreation in natural environments. Particularly during the Covid-19 pandemic, which affected the entire world, urban dwellers were forced to live in closed and socially isolated environments for approximately two years. This process has highlighted the importance of nature and open spaces; individuals have turned to types of recreation that are more economically accessible and also more psychologically and physically satisfying. In this context, interest in camping activities has increased, and the planning and design of campsites has become an important area of study. The study explains the importance of bungalow-type camping areas, one of the camping types; and a model bungalow camping area has been designed in the Uzunoğlu locality of Bartın City. Computer-aided drawing programs were used in the design process. It is anticipated that the proposed drawings resulting from this study can serve as examples for similar fields and can be used as prototypes in different areas.

Keywords: Camping, recreation, bungalow, campsite planning and design

1. GİRİŞ

Bungalov tipi kamping alanları, doğa ile uyumlu, düşük yoğunluklu ve sürdürülebilir turizm anlayışını destekleyen konaklama türleri arasında yer almaktadır. Özellikle kırsal alanlarda, doğal peyzajı bozmadan konaklama olanağı sunmaları nedeniyle son yıllarda tercih edilme oranı artmıştır. Bu alanlar, kullanıcıların doğayla bütünleşmesini sağlarken aynı zamanda çevresel etkileri minimum düzeyde tutmayı hedeflemektedir.

Kamping alanlarının planlanmasında topoğrafya, bitki örtüsü, su varlığı ve iklim gibi doğal faktörler önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, bu alanlarda yapı yoğunluğu düşük tutulmakta ve doğal peyzajın korunmasına öncelik verilmektedir. Bungalov tipi kamping alanları, genellikle tek katlı, düşük yoğunluklu ve doğal malzemeler kullanılarak inşa edilen konaklama birimlerinden oluşmaktadır. Bu yapılar doğal havalandırma ve enerji verimliliği açısından avantaj sağlamaktadır (URL-9, 2022). Bungalov yapılar genellikle ahşap malzemeden üretilmekte olup, arazi üzerinde topoğrafya koşullarına uygun şekilde konumlandırılmaktadır (URL-10, 2023) (Şekil 1).

Bungalov tipi konaklama alanları, rekreasyonel faaliyetler açısından da önemli avantajlar sunmaktadır. Doğa yürüyüşü, bisiklet turları, kuş gözlemi ve ekoturizm yaklaşımli tüm faaliyetler bu alanlarda yaygın olarak gerçekleştirilmektedir (URL-9, 2022) (Şekil 2).



Şekil 1. Grd Villas Bungalow (URL-1, 2025)

Şekil 2. Grand Paradise (URL-2, 2025)

Türkiye’de bungalov tipi kamping alanları özellikle doğal ve kırsal alanlarda yaygın olarak bulunmaktadır. Sapanca (Sakarya), Ayder Yaylası (Rize), Olimpos (Antalya) ve Akyaka (Muğla) gibi bölgeler, doğa ile uyumlu bungalov tesisleri ile son yıllarda öne çıkmıştır (URL-10, 2023). Bu alanlar, doğal peyzajın korunmasına yönelik planlama yaklaşımları ile sürdürülebilir turizm kapsamında değerlendirilmektedir. Ayrıca, bu bölgelerdeki tesisler yerel ekonomik kalkınmaya katkı sağlamakta ve alternatif turizm faaliyetlerinin gelişmesine olanak tanımaktadır (URL-9, 2022) (Şekil 3-8).



Şekil 3, 4. Kotit Ayder Bungalov (URL-3, 2020; URL-4, 2020)



Şekil 5, 6. Olimpos Bungalov Evleri (URL-5, 2023; URL-6, 2023)



Şekil 7, 8. Akyaka Fullmoon Bungalow Camping (URL-7, 2026; URL-8, 2026)

2. MATERYAL YÖNTEM

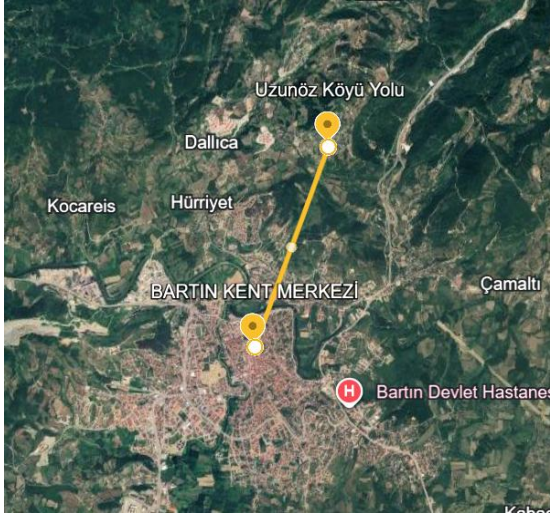
Çalışma alanı olan Bartın ili, Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer almakta olup Karadeniz ikliminin etkisi altındadır. Bölge genelinde ılıman ve nemli iklim koşulları hâkim olup yıllık yağış miktarı yüksektir (URL-11, 2024) (Şekil 9). Bu durum, bölgede yoğun ve çeşitli bitki örtüsünün gelişmesine olanak sağlamaktadır. Bartın ili doğal bitki örtüsü; geniş yapraklı ormanlar, çalı formasyonları ve kıyı bitkilerinden oluşmaktadır. Çalışma alanı olan Uzunöz Köyü, Bartın il merkezine bağlı olup Karadeniz kıyı kuşağı içerisinde yer almaktadır. Köy, doğal peyzaj özellikleri, ormanlık alanları ve su varlığı ile dikkat çekmekte olup kırsal turizm açısından potansiyel bir yerleşim alanı olarak değerlendirilmektedir (URL-12, 2022).

Uzunöz mevkii, topoğrafik yapısı, doğal bitki örtüsü ve kıyı ekosistemi ile bungalow tipi kamping alanlarının planlanmasına uygun özellikler göstermektedir. Alanın konumu, kent merkezi ile olan bağlantısı ve yakınlığı bütünleşik turizm faaliyetlerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda çalışmada, alanın mevcut doğal özellikleri analiz edilerek bungalow tipi kamping alanlarının planlanmasına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Analiz sürecinde iklim, topoğrafya, bitki örtüsü ve arazi kullanımı dikkate alınmıştır (Şekil 10-12).

Kamping alanı önerilen Uzunöz Mevkii Bartın merkeze yaklaşık 25 km uzaklıktadır ve araç ile ulaşım mümkündür. Çalışma alanı yoğun bitki örtüsüne sahip olup ormanlık alan içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanı içerisinde yer alan mevcut yollar stabilize olup zaman zaman kullanımda zorluklar yaşanmaktadır. Toprak zemin yapısı nedeniyle özellikle yağışlı havalarda su birikintileri oluşmakta ve ulaşım zorlaşmaktadır.

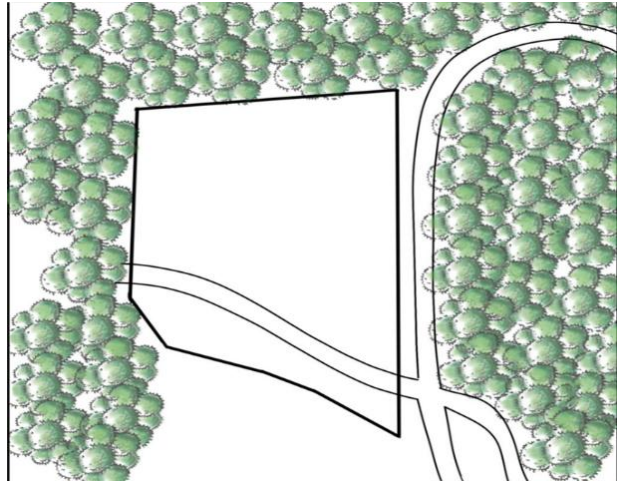


Şekil 9. Çalışma Alanı Konumu (URL-13, 2026)



Şekil 10, 11. Bartın Kent Merkezi ve Uzunöz Köyü (URL-13, 2026)

Alan genel olarak konum, ulaşım, bitki örtüsü ve eğim durumunun fırsata çevrilebileceği doğal nitelikler taşımaktadır (Şekil 13, 14).



Şekil 12, 13. Çalışma Alanı Çevre Bilgileri (3500 m²) (URL-13, 2026)



Şekil 14. Çalışma Alanından Bir Görünüm

Çalışma alanı Bartın ve çevresindeki turistik merkezlere Amasra (16.2 km-20 dk), İnkumu (19.7 km-30 dk), Mugada (26.4 km-38 dk), Güzelcehisar (24.9 km-34 dk), Horma Kanyonu (100 km-1 sa 45 dk) yakınlığı ile avantajlı bir konumdadır. Yakın çevredeki turistik destinasyonlara olan bağlantısı sayesinde turizm potansiyeli yüksek bir alandır.

3. BULGULAR

Proje alanı, doğayla uyumlu, sürdürülebilir ve kullanıcı konforunu ön planda tutan “Leaf & Life Glamping” konsepti doğrultusunda planlanmıştır. “Leaf & Life Glamping” konsepti; doğayla uyumlu, sürdürülebilir ve kullanıcı deneyimini ön planda tutan bir konaklama ve rekreasyon kurgusunu içermektedir. Alan, farklı kullanıcı ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde fonksiyonel alt bölgelere ayrılmıştır.

Alan içerisinde her biri yaklaşık 30 m² büyüklüğünde bungalovlar (5 adet) ve bunlara ait ahşap deck alanları (30–40 m²) yer almaktadır. Ahşap bungalov konaklama birimleri daha izole ve doğayla iç içe bir deneyim sunacak şekilde bitkisel alanlarla çevrelenmiş olarak konumlandırılmıştır. Bu alan yaklaşık 600 m² büyüklüğünde olup, kullanıcıya mahremiyet ve sessiz bir dinlenme ortamı sağlamayı hedeflemektedir.

Bungalov alanının yanında yer alan çadırlı kamp alanı (10 çadır kapasiteli) yaklaşık 300 m² büyüklüğünde planlanmış olup, daha ekonomik ve doğa odaklı konaklama seçeneği sunmaktadır. Alanın kuzeydoğu kısmında yer alan çadırlı kamp alanında kullanıcılar doğrudan doğa ile temas kurabilecektir. Bu alan bitkisel dokularla desteklenerek doğal bir atmosfer oluşturulmuştur. Bu alanda sert zeminler (yaklaşık 350 m²), ahşap dekler (yaklaşık 380 m²) ve hamaklar bulunmaktadır.

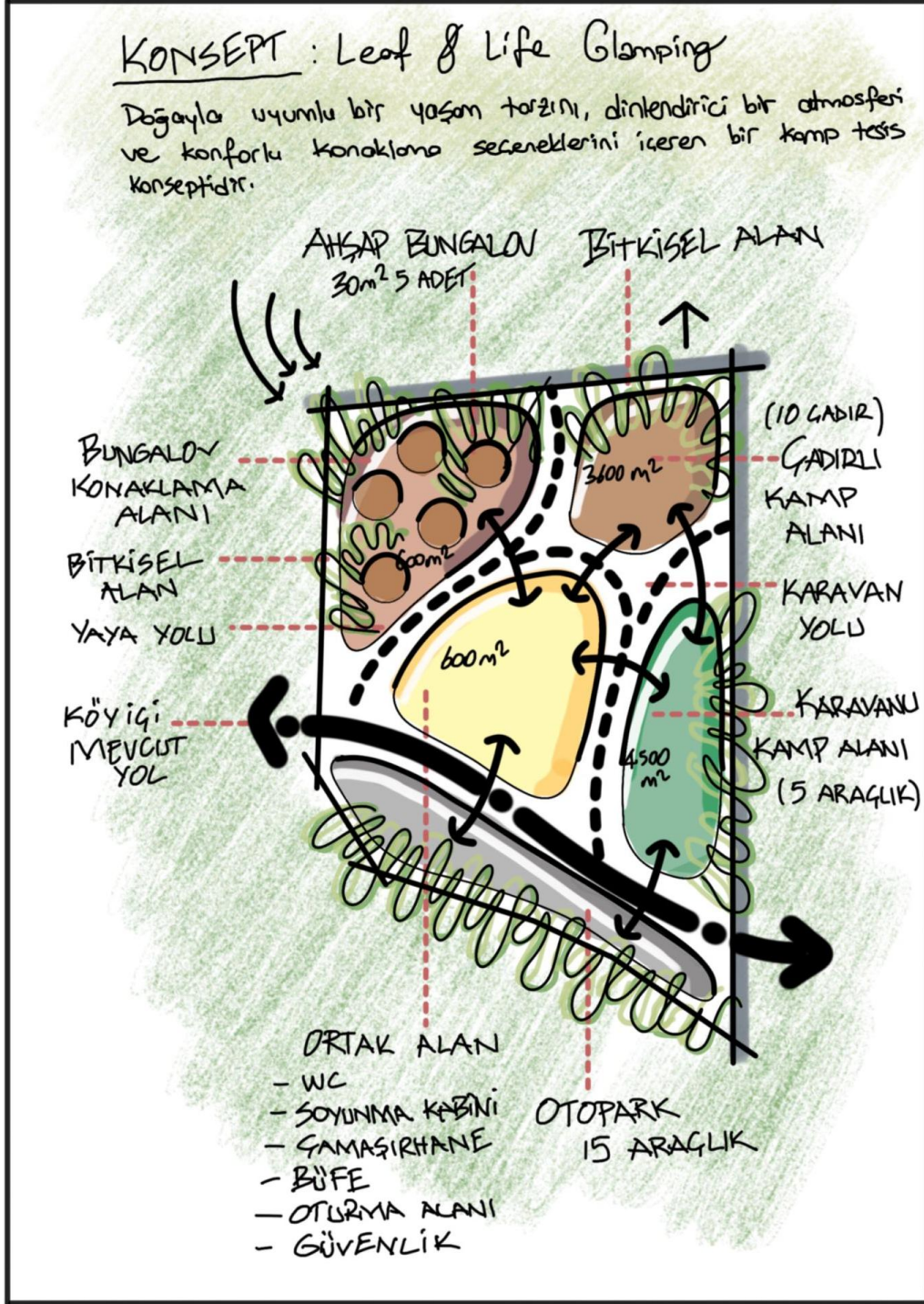
Alanın doğu kısmında ise karavan kamp alanı (5 araçlık) yer almakta olup alan yaklaşık 450 m² büyüklüğündedir. Bu alan, karavan yolu ile doğrudan bağlantılı olacak şekilde tasarlanmış ve araç erişimi kolaylaştırılmıştır. Her karavan için özel çim alanlar ayrılmış ve alan, kayrak taşlı karavan yolu (yaklaşık 310 m²) ile desteklenmiştir. Ayrıca karavan park alanı (sert zemin yaklaşık 216 m²) ile araç sirkülasyonu düzenlenmiştir. Proje merkezinde yer alan yaklaşık 600 m² büyüklüğündeki ortak kullanım alanı, kullanıcıların sosyal etkileşimini artırmayı amaçlamaktadır.

Bu alan içerisinde:

- Oturma ve dinlenme alanları (yaklaşık 45m²)
- Büfe / kafe alanı (yaklaşık 39 m²)
- Fıskiyeli süs havuzu (24 m²)
- Ağaç altı oturma bankları
- Kadın – erkek WC (10 m² + 10 m²)
- Soyunma kabinleri (19 m²)
- Çamaşırhane (3,5 m²)

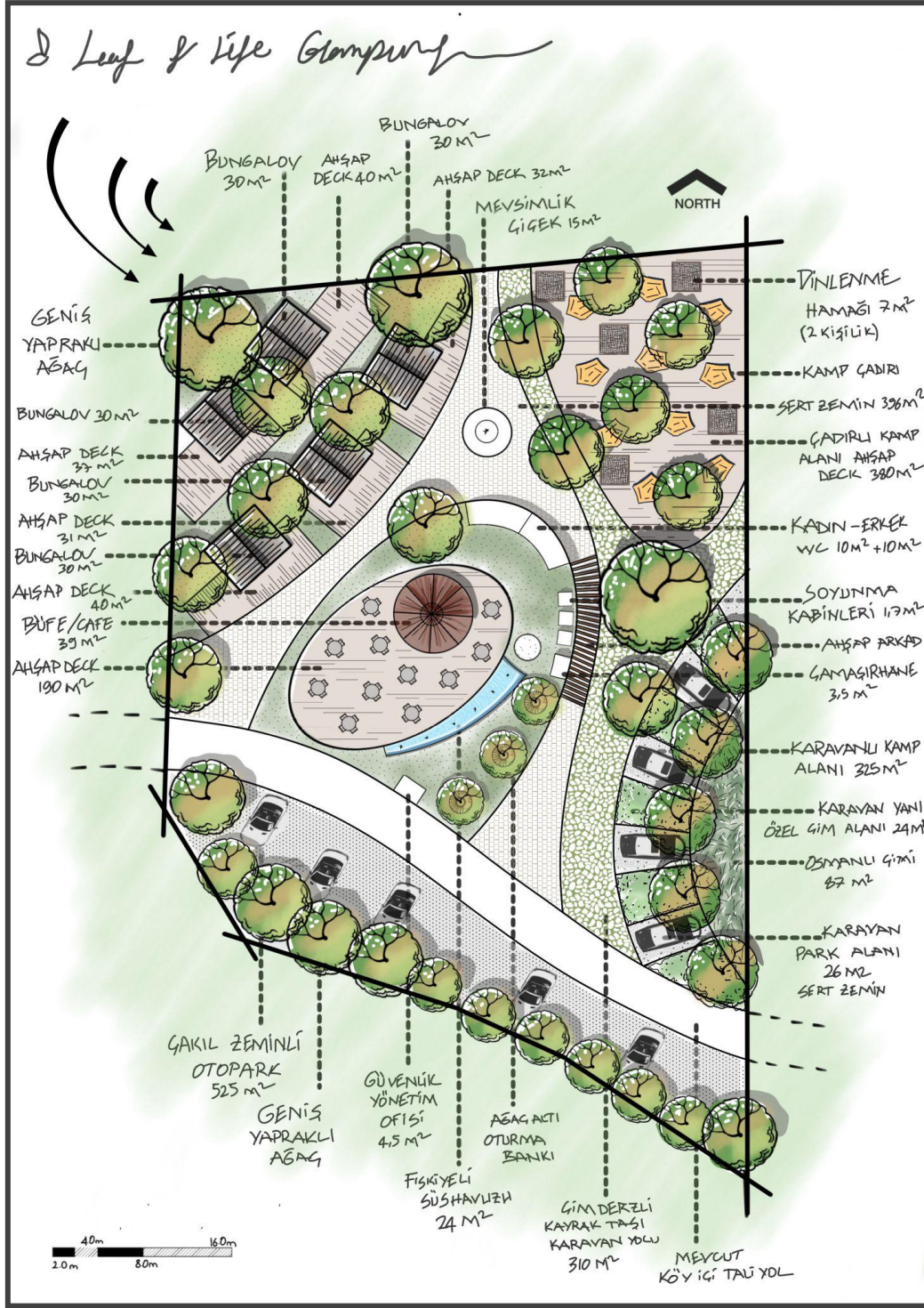
- Güvenlik ve yönetim ofisi (4,5 m²)

gibi temel ihtiyaçlara cevap veren donatılar bulunmaktadır.



Şekil 15. Proje Alan Kullanımları

Tüm bu fonksiyonlar, alan içerisinde oluşturulan yaya yolları ile birbirine bağlanmış, böylece araç ve yaya sirkülasyonu dengeli bir şekilde kurgulanmıştır. Proje girişinde yer alan çakıl zeminli otopark (525 m²), yaklaşık 15 araç kapasitesine sahiptir ve mevcut köy içi tali yol ile doğrudan bağlantılıdır.



Şekil 16. Öneri Camping Alanı Kesin Projesi

Bitkisel tasarım, proje genelinde önemli bir rol oynamakta olup, hem alanları tanımlamak hem de doğal bir peyzaj karakteri oluşturmak amacıyla yoğun şekilde kullanılmıştır. Bitkisel öğeler aynı zamanda kullanıcı mahremiyetini artıran bir unsur olarak kullanılmıştır. Bitkisel tasarımda geniş yapraklı ağaçlar, çim alanlar ve mevsimlik çiçekler kullanılarak doğal ve dinlendirici bir atmosfer oluşturulmuştur.

Sonuç olarak proje; bungalov, çadır ve karavan konaklama seçeneklerini bir araya getiren, sosyal alanlarla desteklenen ve doğal peyzajla bütünleşen bir glamping (lüks kamp) deneyimi sunmayı amaçlamaktadır. Kullanıcıya hem konfor hem de doğa ile iç içe bir yaşam deneyimi sağlayan bu tasarım, sürdürülebilir ve çağdaş bir rekreasyon alanı örneğidir.

Proje planlama, tasarım, görünüş bilgileri aşağıdaki şekillerde verilmiştir (Şekil 15-24).



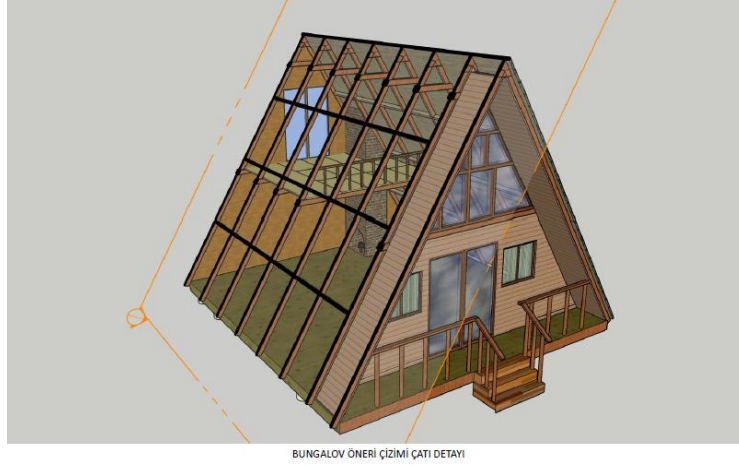
Şekil 17. Çalışma Alanı İçin Önerilen Bungalov Örnekleri



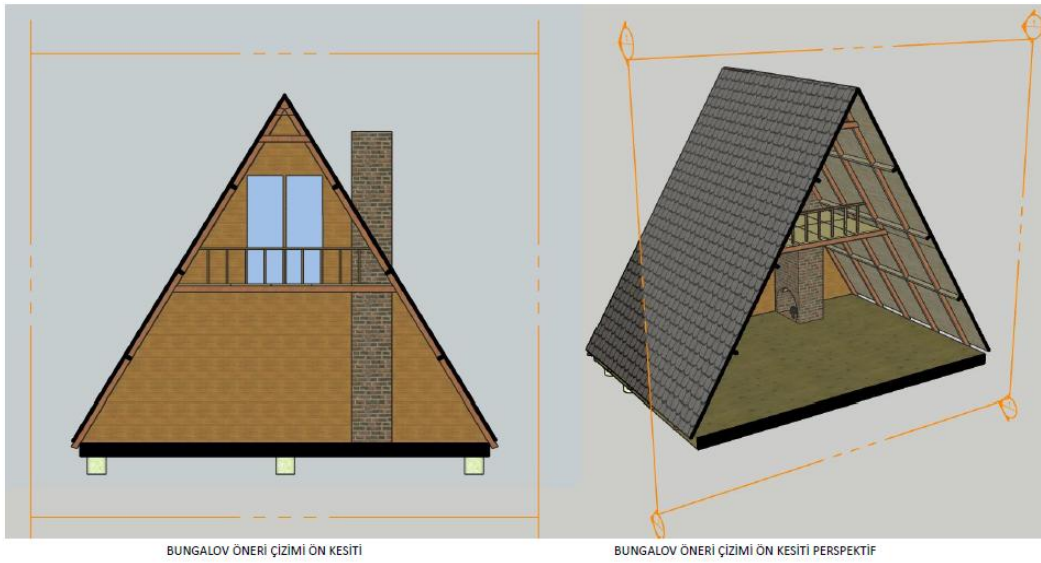
Şekil 18. Bungalov Öneri Çizimi Perspektif Görünümü



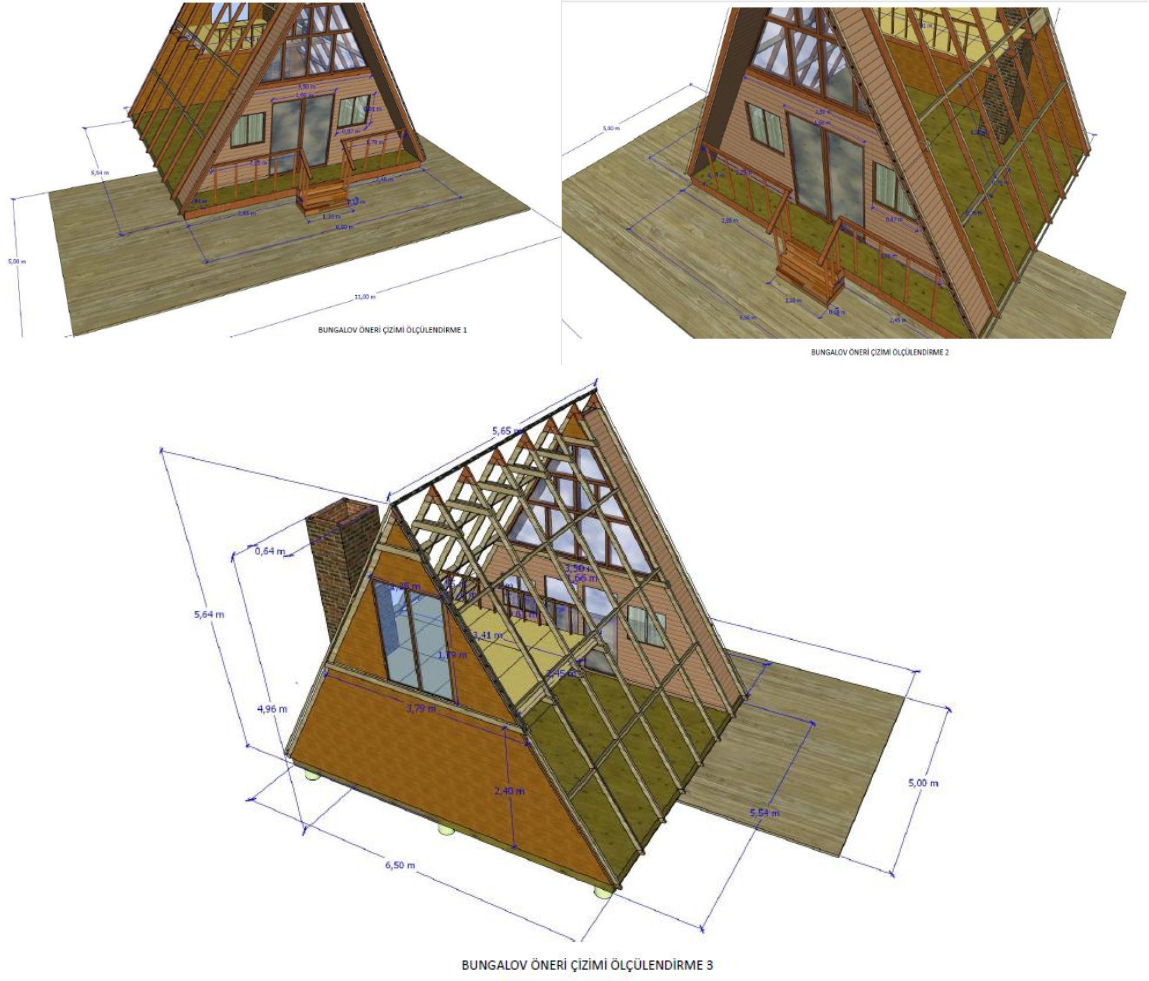
Şekil 19. Bungalov Öneri Çizimi Ön Görünüşü



Şekil 20. Bungalov Öneri Çizimi Çatı Detayı



Şekil 21. Bungalov Öneri Çizimi Ön Kesiti



Şekil 22, 23, 24. Bungalov Öneri Çizimi Ölçülendirme Bilgileri

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında, yapılan değerlendirmeler sonucunda Bartın ili Uzunöz mevkiinin doğal, topoğrafik ve bitkisel özellikler açısından bungalov tipi kamping faaliyetleri için uygun değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

Projenin genel sonuçları doğrultusunda, alanın doğal yapısının korunması ve çevresel etkilerin minimum düzeyde tutulması temel planlama ilkesi olarak benimsenmiştir. Bu kapsamda, yapılacak barınma alanlarının düşük yoğunluklu olması, doğal topoğrafyaya uyum sağlaması ve mevcut bitki örtüsünün korunması ilke olarak benimsenmiştir.

Alan, farklı konaklama tiplerini ve ortak kullanım alanlarını dengeli bir şekilde bir araya getiren fonksiyonel bir yerleşim kurgusuna sahiptir. Alan içerisindeki yapısal öneriler; bungalov konaklama birimleri, yaya yolları, dinlenme alanları ve rekreasyon alanlarından oluşmaktadır. Ayrıca, araç trafiğinin sınırlandırılması ve yaya odaklı ulaşım sisteminin oluşturulması planlama açısından önem taşımaktadır.

Bitkisel tasarım önerileri kapsamında ise, alanda mevcut bulunan doğal bitki örtüsünün korunması ve yerel türlerin kullanılması esas alınmıştır. Yerel bitki türlerinin tercih edilmesi, hem ekolojik dengenin korunmasına katkı sağlamakta hem de bakım maliyetlerini azaltmaktadır. Ayrıca, bitkisel tasarımda doğal peyzaj karakterinin devamlılığının sağlanması hedeflenmektedir.

Sonuç olarak, Uzunöz mevki için önerilen bungalow tipi kamping alanı planlamasında sürdürülebilir turizm ilkeleri doğrultusunda doğaya uyumlu, düşük yoğunluklu ve çevresel etkileri minimize eden bir yaklaşım benimsenmiştir.

TEŞEKKÜRLER

Ahşap tasarımların çizimlerinde desteğini aldığımız Merve CEBİROĞLU SAVAHİL ve Ahşap Oyun Evleri Atölyesi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- URL-1 (2025) <https://cdn3.enuygun.com/media/lib/1x720/uploads/image/sapanca>
- URL-2 (2025) <https://cdn.tatilsepeti.com/Files/Images/Tesis/>
- URL-3 (2020)
<https://static.ticimax.cloud/33860/uploads/urunresimleri/buyuk/ayder-yaylasi-2-gece-konaklamali-bunga--189c3.jpg>
- URL-4 (2020)
<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?>
- URL-5 (2023)
<https://www.google.com/imgres?q=Olimpos%20Bungalow%20Evleri&imgurl>
- URL-6 (2023)
<https://www.piertur.com/kadir-s-yoruk-top-tree-houses-otel>
- URL-7 (2026)
<https://images.trvl-media.com/lodging/>
- URL-8 (2026)
<https://www.google.com/imgres?q=%20Akyaka%20Fullmoon%20Bungalow%20Camping&imgurl>
- URL-9 (2022) <https://www.untourism.int/unwto-2022-a-year-review>
- URL-10 (2023) <https://kvmgm.ktb.gov.tr>
- URL-11 (2024) <https://www.tuik.gov.tr>
- URL-12 (2022) <https://www.bartin.gov.tr/>
- URL-13 (2026) <https://earth.google.com/web/>

EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF NON-COMMUNICABLE DISEASES AND LIFESTYLE FACTORS IN URBAN UZBEKISTAN

Prof. Dr. Akmal Rakhimov, Dilnoza Karimova, Dr. Bekzod Tursunov
Faculty of Public Health, Tashkent Medical Academy, Uzbekistan

ABSTRACT

This study examines the epidemiological patterns of non-communicable diseases in urban Uzbekistan and explores the lifestyle factors that contribute to their growing public health burden. As urbanization, dietary change, reduced physical activity, and stress-related conditions reshape everyday life, chronic diseases have become a major concern for health planners and medical institutions. The research focuses on the relationship between social behavior, urban living conditions, and long-term health outcomes.

The study is grounded in epidemiological and public health literature and emphasizes the importance of prevention-oriented analysis. It considers major lifestyle-related determinants such as nutritional habits, sedentary routines, tobacco use, alcohol consumption, and limited exercise. The findings suggest that urban populations are increasingly exposed to health risks associated with modern lifestyles, while access to preventive care and health education remains uneven. The study also highlights the role of socioeconomic status, occupational stress, and environmental pressures in shaping disease vulnerability.

The paper argues that non-communicable disease prevention in urban Uzbekistan requires integrated strategies that go beyond clinical treatment. Public health initiatives should combine screening, health promotion, urban planning, and community education to reduce risk and support healthier behavior. The study concludes that understanding lifestyle patterns is essential for designing effective interventions and strengthening long-term population health. It also emphasizes that chronic disease control must be approached as a shared responsibility between health institutions, schools, workplaces, and local communities.

Key words: non-communicable diseases, urban health, lifestyle factors, Uzbekistan, public health prevention

MATERNAL AND CHILD HEALTH OUTCOMES IN RURAL UZBEK COMMUNITIES: ACCESS AND INTERVENTION STRATEGIES

Assoc. Prof. Dr. Gulbahor Saidova, Shakhnoza Ergasheva

Faculty of Medicine and Health Sciences, Samarkand State Medical University, Uzbekistan

ABSTRACT

This study investigates maternal and child health outcomes in rural Uzbek communities, with a focus on healthcare access and intervention strategies. Rural regions often face persistent barriers related to distance, limited transport, shortages of trained staff, and uneven availability of health services. These conditions can affect pregnancy care, safe delivery, infant monitoring, and early childhood health, making maternal and child health a key public health priority.

The study is based on public health and rural healthcare literature. It examines how access limitations shape health outcomes and how targeted interventions can improve service delivery. The findings suggest that rural mothers and children are more vulnerable when preventive care, follow-up services, and referral systems are weak. The study also notes that health problems are often intensified by low awareness, economic hardship, and delays in seeking care. Community health workers, mobile clinics, and health education programs are identified as especially important in reducing these gaps.

The paper argues that effective maternal and child health improvement requires a combined approach that addresses both service access and social support. Strengthening primary care, improving transport to facilities, and building trust between communities and health providers are essential components of sustainable intervention. The study concludes that rural health programs in Uzbekistan should prioritize equity, early prevention, and continuity of care to improve outcomes for mothers and children.

Key words: maternal health, child health, rural communities, Uzbekistan, healthcare access

IMPACT OF AIR POLLUTION ON RESPIRATORY HEALTH IN HIGH-DENSITY INDIAN CITIES

Dr. Rakesh Verma, Anjali Deshpande, Prof. Dr. Suresh Iyer

Faculty of Environmental Health, University of Delhi, India

ABSTRACT

This study explores the impact of air pollution on respiratory health in high-density Indian cities, where traffic congestion, industrial emissions, construction dust, and seasonal pollution create major environmental health challenges. Urban residents are exposed to persistent air quality problems that contribute to chronic respiratory illness, reduced lung function, and increased vulnerability among children, older adults, and people with pre-existing conditions. The study examines the public health implications of long-term exposure to polluted urban air.

The research is based on environmental epidemiology and respiratory health literature. It focuses on the relationship between pollution exposure and respiratory outcomes, including asthma, bronchitis, airway irritation, and breathing difficulty. The findings suggest that pollution effects are intensified in densely populated cities where housing conditions, traffic patterns, and limited green space increase exposure. The study also highlights unequal vulnerability across population groups, with low-income communities often experiencing higher health risks due to location and limited access to care.

The paper argues that reducing respiratory health burdens requires coordinated environmental regulation, stronger urban planning, and public awareness efforts. It also emphasizes the importance of monitoring systems and preventive health strategies in areas with persistent pollution. The study concludes that air pollution should be treated as both an environmental and health equity issue, requiring sustained policy attention and intersectoral action.

Key words: air pollution, respiratory health, Indian cities, environmental epidemiology, urban health

NUTRITIONAL DEFICIENCIES AND THEIR EFFECT ON ADOLESCENT DEVELOPMENT IN RURAL INDIA

Assoc. Prof. Dr. Kavita Sharma, Rahul Nair

Faculty of Nutrition and Public Health, University of Calcutta, India

ABSTRACT

This study examines nutritional deficiencies and their effects on adolescent development in rural India, where food insecurity, limited dietary diversity, and uneven health access continue to shape child and youth well-being. Adolescence is a critical developmental stage in which nutrition affects physical growth, cognitive performance, emotional stability, and school participation. The paper explores the relationship between rural nutritional conditions and broader developmental outcomes.

The study is informed by nutrition science and adolescent health literature. It considers how deficiencies in essential nutrients contribute to fatigue, reduced concentration, delayed growth, and increased illness susceptibility. The findings suggest that nutritional problems in rural areas are closely linked to poverty, household food patterns, sanitation conditions, and gaps in preventive health support. The study also points to the importance of school-based health programs, dietary counseling, and community outreach in identifying and reducing risk.

The paper argues that adolescent nutrition should be understood as a social and developmental issue, not only as a medical one. Public health responses are most effective when they combine supplementation, education, and local support systems. The study concludes that improving adolescent nutrition in rural India requires integrated strategies that strengthen both health access and family awareness.

Key words: adolescent nutrition, rural India, nutritional deficiencies, child development, public health

PREVALENCE OF INFECTIOUS DISEASES AND COMMUNITY HEALTH RESPONSES IN YEMENI URBAN AREAS

Prof. Dr. Ahmed Al-Hakimi, Saeed Al-Mutairi, Dr. Huda Al-Yemeni

Faculty of Medicine and Health Sciences, Sana'a University, Yemen

ABSTRACT

This study investigates the prevalence of infectious diseases and community health responses in Yemeni urban areas, where conflict, overcrowding, and weakened infrastructure have increased public health vulnerability. Urban populations in Yemen face continuing exposure to communicable illnesses due to limited sanitation, unstable services, and reduced access to healthcare. The paper explores how these conditions affect disease patterns and how communities respond in the absence of strong institutional support.

The study is based on infectious disease and public health literature, with attention to urban health systems in crisis settings. It examines the spread of common infections, the role of environmental conditions, and the importance of community-based response mechanisms. The findings suggest that urban disease burdens are shaped by poor sanitation, water insecurity, population displacement, and inconsistent health service delivery. Community awareness, informal care networks, and local health volunteers are shown to play an important role in mitigation.

The paper argues that infectious disease control in Yemeni cities requires more than emergency treatment. Sustainable improvement depends on prevention, surveillance, health education, and stronger coordination between local health actors and public institutions. The study concludes that community health responses should be supported through resilient urban health systems capable of addressing both immediate outbreaks and long-term structural vulnerability.

Key words: infectious diseases, urban Yemen, community health, public health response, disease prevalence

HEALTHCARE ACCESSIBILITY CHALLENGES IN CONFLICT-AFFECTED YEMENI REGIONS

Assis. Prof. Dr. Khaled Al-Sabri, Mariam Al-Qadhi

Faculty of Health Sciences, University of Aden, Yemen

ABSTRACT

This study examines healthcare accessibility challenges in conflict-affected Yemeni regions, where war, displacement, damaged infrastructure, and workforce shortages have severely weakened the health system. Access to care is limited by distance, insecurity, cost, and the reduced functionality of health facilities. The paper explores how these barriers affect routine treatment, emergency care, maternal services, and chronic disease management.

The research is based on health systems and humanitarian public health literature. It focuses on the relationship between conflict conditions and the breakdown of service access. The findings suggest that healthcare barriers are not only physical but also institutional, as referral systems, supply chains, and administrative coordination have all been disrupted. Vulnerable groups such as women, children, older adults, and displaced families are especially affected by these limitations.

The paper argues that improving access in conflict settings requires flexible delivery models, local partnerships, and sustained support for primary care. Mobile health units, community health workers, and decentralized service delivery are identified as important strategies. The study concludes that healthcare accessibility in Yemen must be approached as a humanitarian and structural challenge that demands long-term recovery planning alongside emergency assistance.

Key words: healthcare access, conflict zones, Yemen, health systems, humanitarian crisis

THE ROLE OF TELEMEDICINE IN IMPROVING PRIMARY HEALTHCARE DELIVERY IN YEMEN

Dr. Nasser Al-Hadhrami, Fatima Al-Sharabi, Yahya Al-Maqtari

Faculty of Medicine, University of Science and Technology, Yemen

ABSTRACT

This study explores the role of telemedicine in improving primary healthcare delivery in Yemen, where conflict, geographic barriers, and infrastructure damage have limited access to conventional health services. Telemedicine offers a promising approach to maintaining continuity of care, especially in regions where travel to clinics is difficult or unsafe. The paper examines how digital health tools can support diagnosis, consultation, monitoring, and referral in underserved settings.

The study is grounded in telehealth and primary care literature. It considers the potential of remote consultation systems, digital communication platforms, and mobile health services to expand access while reducing pressure on overburdened facilities. The findings suggest that telemedicine can improve early diagnosis, increase the reach of health professionals, and help patients receive advice without extensive travel. It is particularly valuable for maternal health, chronic disease follow-up, and basic triage services.

The paper also discusses the challenges of telemedicine implementation, including limited internet access, digital literacy gaps, and the need for institutional support. It argues that telemedicine should complement rather than replace in-person care, especially in emergency or complex cases. The study concludes that telemedicine can strengthen primary healthcare delivery in Yemen when it is integrated into broader health system planning and supported by reliable infrastructure.

Key words: telemedicine, primary healthcare, Yemen, digital health, access to care

ASSESSMENT OF CARDIOVASCULAR DISEASE RISK FACTORS IN LIBYAN ADULT POPULATION

Prof. Dr. Omar Al-Fitouri, Salma BENGHAZI

Faculty of Medicine, University of Tripoli, Libya

ABSTRACT

This study assesses cardiovascular disease risk factors in the Libyan adult population, where changing lifestyles, stress, dietary patterns, and limited preventive healthcare have contributed to growing concern about chronic disease. Cardiovascular illness remains one of the most important public health challenges in adult populations, particularly in settings where screening and long-term management are not consistently available. The paper explores the main risk factors shaping cardiovascular vulnerability in Libya.

The study is based on cardiovascular epidemiology and public health literature. It considers behavioral and biological factors such as poor diet, physical inactivity, tobacco use, obesity, and hypertension, along with the role of stress and social instability. The findings suggest that cardiovascular risk is closely related to lifestyle patterns and uneven access to preventive care. The study also highlights the importance of early screening and health education in reducing long-term disease burden.

The paper argues that cardiovascular prevention should be integrated into primary healthcare and community health planning. Effective risk reduction depends on awareness programs, regular monitoring, and support for behavior change. The study concludes that improving cardiovascular health in Libya requires a sustained preventive approach that links individual behavior, clinical care, and broader public health strategy.

Key words: cardiovascular risk, adult health, Libya, lifestyle factors, chronic disease prevention

MENTAL HEALTH AWARENESS AND COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS IN POST-CONFLICT LIBYA

Assoc. Prof. Dr. Khaled Al-Misrati, Aisha Zliten

Faculty of Psychology and Social Work, University of Benghazi, Libya

ABSTRACT

This study examines mental health awareness and community-based interventions in post-conflict Libya, where prolonged instability, displacement, and social disruption have increased psychological needs across the population. Mental health remains an important but often under-addressed component of recovery, particularly in communities that have experienced loss, insecurity, and weakened social support. The paper explores the role of awareness and local intervention in improving psychosocial well-being.

The study is informed by community mental health and post-conflict recovery literature. It focuses on stigma reduction, outreach, peer support, counseling access, and the role of local institutions in shaping mental health response. The findings suggest that awareness is a necessary first step in encouraging help-seeking and building acceptance of mental health care. Community-based interventions are especially valuable because they can be culturally responsive, accessible, and grounded in local trust.

The paper argues that mental health recovery in Libya should not rely only on specialized clinical services. Instead, it requires collaboration between healthcare providers, educators, community leaders, and civil society actors. The study concludes that sustainable mental health support depends on awareness, local participation, and integration with broader social recovery efforts. Community-based approaches offer a practical and culturally relevant path toward healing in post-conflict settings.

Key words: mental health awareness, comm

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL ORGANIC COMPOUNDS FOR PHARMACEUTICAL APPLICATIONS IN UZBEKISTAN

**Malika Yusupova, Prof. Dr. Bekzod Karimov, Dr. Dilnoza Tashpulatova, Javlon
Ergashev**

Faculty of Chemistry, National University of Uzbekistan, Uzbekistan

ABSTRACT

This study explores the synthesis and characterization of novel organic compounds designed for potential pharmaceutical applications in Uzbekistan. The research is situated within the broader field of medicinal chemistry, where the development of structurally diverse molecules continues to play a central role in drug discovery and therapeutic innovation. By focusing on new organic frameworks, the study aims to contribute to the search for compounds with improved bioactivity, structural stability, and chemical suitability for further pharmaceutical testing.

The research is based on synthetic chemistry and analytical characterization approaches. It emphasizes the design of organic compounds through selected reaction pathways, followed by structural confirmation using modern spectroscopic and chemical analysis methods. The study also considers how substituent variation and molecular architecture influence physicochemical properties relevant to pharmaceutical use. The findings suggest that careful control of synthesis conditions is essential for obtaining compounds with desirable purity, stability, and potential biological relevance. In addition, the research highlights the importance of linking organic synthesis with pharmacological screening in order to identify promising candidates for further development.

The paper argues that pharmaceutical chemistry in Uzbekistan can benefit from stronger integration between laboratory synthesis, analytical evaluation, and applied medicinal research. Such an approach supports not only scientific advancement but also the development of local research capacity in drug-related chemistry. The study concludes that novel organic compounds should be examined not merely as isolated chemical products, but as part of a broader pipeline connecting molecular design with therapeutic innovation. This perspective is especially important for countries seeking to strengthen independent scientific and pharmaceutical research traditions.

Key words: organic synthesis, pharmaceutical chemistry, molecular characterization, medicinal compounds, Uzbekistan

CATALYTIC CONVERSION OF NATURAL GAS INTO VALUE-ADDED CHEMICALS IN UZBEK INDUSTRIAL PROCESSES

Assoc. Prof. Dr. Rustam Abdullaev

Faculty of Chemical Engineering, Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan

ABSTRACT

This study examines the catalytic conversion of natural gas into value-added chemicals within Uzbek industrial processes. Natural gas remains one of the most important energy and chemical resources in Uzbekistan, and its conversion into higher-value products is a strategic issue for both industrial modernization and economic diversification. The research focuses on how catalytic methods can improve efficiency, reduce waste, and expand the range of downstream chemical products derived from hydrocarbon feedstocks.

The study is based on chemical engineering and industrial catalysis literature. It reviews major catalytic pathways used in natural gas upgrading, including reforming, oxidation, and selective conversion routes. The analysis emphasizes the importance of catalyst activity, selectivity, thermal stability, and resistance to deactivation in determining industrial performance. It also highlights the role of process optimization in improving product quality and reducing environmental impact. The findings suggest that catalytic technologies offer strong potential for converting abundant natural gas resources into economically valuable chemicals that support industrial growth.

The paper argues that natural gas utilization should move beyond simple energy consumption toward more integrated chemical production systems. In the Uzbek context, this shift can strengthen national competitiveness while promoting more efficient resource use. The study concludes that catalytic conversion is not only a technical process but also a strategic industrial pathway capable of linking raw material availability with higher-value manufacturing and sustainable chemical development.

Key words: natural gas conversion, catalysis, value-added chemicals, industrial chemistry, Uzbekistan

GREEN SYNTHESIS OF NANOPARTICLES USING PLANT EXTRACTS IN INDIAN CHEMICAL RESEARCH

Dr. Ananya Chatterjee, Rohit Sharma, Prof. Dr. Vivek Menon

Faculty of Science, University of Delhi, India

ABSTRACT

This study investigates the green synthesis of nanoparticles using plant extracts in Indian chemical research. As environmental concerns increasingly influence materials science, green synthesis has emerged as a promising alternative to conventional chemical and physical nanoparticle production methods. The research examines how plant-derived compounds can function as reducing and stabilizing agents in the formation of nanoparticles with potential applications in medicine, catalysis, and environmental technology.

The study is based on green chemistry and nanomaterials literature. It highlights the advantages of plant-mediated synthesis, including reduced toxicity, lower energy requirements, and compatibility with sustainable laboratory practices. The analysis also considers how phytochemical composition affects nanoparticle size, shape, and functional properties. The findings suggest that green synthesis can produce stable and biologically active nanoparticles while minimizing harmful by-products. In addition, the method supports the broader goal of environmentally responsible innovation in materials development.

The paper argues that plant-based nanoparticle synthesis offers a valuable pathway for combining traditional botanical knowledge with modern chemical research. In the Indian context, this approach can support both scientific innovation and ecological responsibility. The study concludes that green synthesis should be viewed as an important component of future nanotechnology development, especially where sustainability and biomedical relevance are central concerns.

Key words: green synthesis, nanoparticles, plant extracts, nanochemistry, sustainable materials

ELECTROCHEMICAL STUDIES OF CORROSION INHIBITORS FOR INDUSTRIAL METALS IN INDIAN ENVIRONMENTS

Dr. Kunal Verma, Priya Nair

Faculty of Chemical Sciences, Indian Institute of Technology Bombay, India

ABSTRACT

This paper examines electrochemical studies of corrosion inhibitors for industrial metals in Indian environments, where exposure to moisture, pollutants, and variable climatic conditions accelerates material degradation. Corrosion protection remains a major concern in industrial maintenance, infrastructure durability, and cost-effective metal preservation. The study explores how corrosion inhibitors can reduce metal damage and improve the long-term performance of industrial systems.

The research is grounded in electrochemistry and materials protection literature. It focuses on the behavior of inhibitor compounds in contact with common industrial metals and examines how adsorption, surface interaction, and polarization processes influence protective efficiency. The findings suggest that effective corrosion inhibitors must combine strong surface coverage with environmental compatibility and thermal stability. The study also notes that electrochemical methods provide reliable tools for evaluating inhibitor performance and understanding protection mechanisms.

The paper argues that corrosion control should be approached as both a scientific and an industrial priority. In India's diverse environmental conditions, practical inhibitor selection can help reduce maintenance costs and extend service life. The study concludes that electrochemical analysis is essential for developing improved anti-corrosion strategies and for supporting safer, more sustainable industrial operations.

Key words: corrosion inhibition, electrochemistry, industrial metals, materials protection, India

ANALYSIS OF WATER POLLUTANTS AND CHEMICAL REMEDIATION METHODS IN YEMENI URBAN AREAS

Dr. Ahmed Al-Hakimi, Noor Al-Haddad
Faculty of Science, Sana'a University, Yemen

ABSTRACT

This study analyzes water pollutants and chemical remediation methods in Yemeni urban areas, where deteriorating infrastructure and environmental stress have created serious challenges for water quality management. Urban water contamination has become a pressing public health and environmental issue, particularly in settings affected by conflict, rapid population growth, and limited treatment capacity. The research examines the main pollutant types affecting urban water systems and the chemical methods used to reduce their impact.

The study is based on environmental chemistry and water treatment literature. It considers contaminants such as heavy metals, industrial residues, and microbial indicators that compromise water safety. The analysis shows that remediation methods must be adapted to the local context, taking into account resource limitations, technical feasibility, and long-term maintenance. Chemical approaches such as coagulation, adsorption, oxidation, and pH adjustment are discussed as practical tools for improving water quality.

The paper argues that urban water remediation in Yemen requires integrated chemical and policy responses. Treatment strategies are most effective when they are linked to monitoring, infrastructure repair, and public awareness. The study concludes that improving water quality in Yemeni cities depends on a combination of scientific intervention and institutional commitment to environmental protection.

Key words: water pollutants, chemical remediation, urban water quality, Yemen, environmental chemistry

POLYMER-BASED MATERIALS FOR DESALINATION TECHNOLOGIES IN YEMEN

Dr. Saleh Al-Mutairi, Huda Al-Qadhi

Faculty of Engineering, University of Aden, Yemen

ABSTRACT

This study explores polymer-based materials for desalination technologies in Yemen, where freshwater scarcity remains one of the most urgent environmental and social challenges. Desalination has gained importance as a potential response to water shortage, but its effectiveness depends on the performance of membranes and supporting materials. The paper investigates how polymer-based systems can improve desalination efficiency, durability, and operational stability.

The research is based on materials chemistry and water treatment literature. It focuses on the properties of polymer membranes, including selectivity, permeability, chemical resistance, and fouling behavior. The findings suggest that polymer-based materials offer significant advantages for desalination because they can be engineered to balance water flux with salt rejection while remaining adaptable to different operating conditions. The study also emphasizes the importance of material innovation in reducing energy demand and improving membrane lifespan.

The paper argues that desalination in Yemen should not rely solely on imported technologies but should also encourage local scientific and engineering development. By strengthening research on polymer materials, Yemen can improve the sustainability and affordability of water treatment systems. The study concludes that polymer-based desalination technologies represent an important pathway for addressing water scarcity through applied materials research and innovation.

Key words: desalination, polymer materials, membrane technology, water scarcity, Yemen

INVESTIGATION OF BIOACTIVE NATURAL PRODUCTS FROM YEMENI MEDICINAL PLANTS

Assis. Prof. Dr. Khaled Al-Amri, Samira Al-Yamani, Dr. Tariq Al-Shami

Faculty of Pharmacy, University of Science and Technology, Yemen

ABSTRACT

This study investigates bioactive natural products from Yemeni medicinal plants, focusing on their potential value for pharmaceutical and therapeutic research. Yemen's diverse plant heritage includes many species used in traditional healing practices, yet their chemical and biological properties remain insufficiently explored. The paper examines how natural products from these plants may contribute to the discovery of new bioactive compounds with medicinal relevance.

The research is grounded in natural product chemistry and pharmacognosy literature. It considers phytochemical composition, extraction approaches, and the relationship between traditional usage and modern scientific evaluation. The findings suggest that Yemeni medicinal plants contain a range of secondary metabolites that may support antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, and other bioactive functions. The study also highlights the importance of systematic analysis to connect ethnobotanical knowledge with laboratory-based validation.

The paper argues that medicinal plant research in Yemen should be viewed as both a scientific and a cultural project. It can support drug discovery while preserving traditional knowledge systems that have long shaped local healthcare. The study concludes that bioactive natural products from Yemeni plants deserve further investigation as a source of sustainable pharmaceutical innovation and regional scientific development.

Key words: natural products, medicinal plants, Yemen, bioactive compounds, pharmacognosy

PETROCHEMICAL PROCESS OPTIMIZATION IN LIBYAN OIL REFINERIES USING ADVANCED CATALYSTS

Assis. Prof. Dr. Mahmoud Al-Farjani, Salem Al-Gharyani

Faculty of Petroleum Engineering, University of Tripoli, Libya

ABSTRACT

This study examines petrochemical process optimization in Libyan oil refineries through the use of advanced catalysts. As petroleum refining remains a central sector of Libya's industrial economy, improving process efficiency and product quality is a major technical priority. The research focuses on how catalyst selection and process design can enhance conversion performance, reduce energy consumption, and support more efficient refinery operations.

The study is based on petrochemical engineering and catalysis literature. It reviews the role of advanced catalysts in hydroprocessing, cracking, and upgrading processes, emphasizing their influence on reaction selectivity, stability, and product yield. The findings suggest that refinery performance improves when catalytic systems are matched to feedstock composition and operational conditions. The analysis also highlights the value of process optimization in reducing waste and improving operational sustainability.

The paper argues that catalyst innovation should be integrated with broader refinery management strategies. In the Libyan context, this means supporting local technical expertise, improving operational monitoring, and encouraging applied research in process engineering. The study concludes that advanced catalysts provide an important pathway for strengthening refinery productivity and promoting more competitive petrochemical development.

Key words: petrochemical optimization, advanced catalysts, oil refineries, Libya, process engineering

ENVIRONMENTAL CHEMISTRY APPROACHES FOR AIR POLLUTION CONTROL IN LIBYAN CITIES

Dr. Aisha Ben Salem, Omar Al-Zawi

Faculty of Science, University of Benghazi, Libya

ABSTRACT

This paper explores environmental chemistry approaches for air pollution control in Libyan cities, where urban growth, vehicle emissions, industrial activity, and dust-related conditions have increased the need for effective air quality management. Air pollution is a major environmental and public health issue that requires both scientific understanding and practical intervention. The study examines how chemical methods can support pollution monitoring, reduction, and control in urban settings.

The research is based on environmental chemistry and atmospheric pollution literature. It considers the main pollutants affecting city air quality and discusses chemical strategies used in mitigation, including adsorption, catalytic conversion, particulate control, and emission treatment. The findings suggest that air pollution control is most effective when chemical approaches are combined with regulatory measures and urban planning. The study also notes that local climatic conditions and infrastructure limitations must be considered when designing interventions.

The paper argues that environmental chemistry should play a central role in urban pollution management in Libya. By connecting scientific analysis with policy action, cities can improve air quality and reduce health risks. The study concludes that air pollution control requires long-term commitment, stronger monitoring systems, and greater investment in environmentally responsible technologies.

Key words: air pollution, environmental chemistry, urban Libya, pollution control, atmospheric monitoring

WIRELESS COMMUNICATION MODULE OPTIMIZATION FOR IOT APPLICATIONS IN MOLDOVA

Prof. Dr. Ion Brinza, Elena Cebotari, Victor Rusu

Faculty of Electronics and Telecommunications, Technical University of Moldova, Moldova

ABSTRACT

This study examines the optimization of wireless communication modules for Internet of Things applications in Moldova, where digital connectivity is increasingly important for smart infrastructure, industrial monitoring, and emerging service systems. As IoT technologies expand across agriculture, urban management, transport, and environmental monitoring, the reliability and efficiency of wireless modules become critical for stable data exchange and long-term system performance. The research explores how communication design can be improved to meet the technical demands of low-power, low-latency, and adaptive IoT environments.

The study is based on a review of wireless communication engineering literature and IoT system design principles. It focuses on module architecture, energy consumption, signal stability, transmission range, and interoperability across device networks. The findings suggest that effective optimization requires careful balancing of power efficiency, bandwidth use, and communication reliability. It also shows that modular design can improve scalability, allowing systems to adapt to different application contexts without excessive hardware complexity. In addition, the study highlights the importance of environmental conditions, especially in rural or infrastructure-limited areas where connection quality may fluctuate.

The paper argues that wireless module optimization should not be understood only as a hardware issue, but as part of a broader digital ecosystem. In Moldova, IoT applications can benefit from systems that are flexible, resilient, and cost-conscious. The study concludes that strong communication module design supports the wider development of smart services, connected devices, and intelligent monitoring systems, making it a key component of technological modernization.

Key words: wireless communication, IoT applications, module optimization, Moldova, smart systems

DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT CMOS CIRCUITS IN BANGLADESHI ELECTRONICS INDUSTRY

Dr. Rahman Siddique, Farhana Islam, Mahmudul Hasan, Prof. Dr. Kamal Uddin

Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh

ABSTRACT

This paper investigates the design and performance analysis of energy-efficient CMOS circuits within the Bangladeshi electronics industry. As electronic systems become more widespread in communication devices, consumer technologies, and industrial applications, power efficiency and circuit stability have become central concerns. The study explores how CMOS design strategies can reduce energy consumption while maintaining reliable performance in practical applications.

The research is grounded in electronic engineering literature and circuit design principles. It focuses on transistor sizing, switching behavior, leakage reduction, and layout optimization as important factors in improving circuit efficiency. The findings suggest that energy-efficient CMOS design can significantly support low-power operation, extend device lifespan, and reduce thermal stress. It also highlights the importance of adapting design methods to local manufacturing conditions and industrial requirements in Bangladesh.

The paper further argues that efficiency should be considered alongside scalability and reliability, since electronic products must function consistently across different usage contexts. In the Bangladeshi electronics sector, optimized CMOS circuits can contribute to improved product quality and more sustainable technology development. The study concludes that energy-conscious design is essential for strengthening the competitiveness of the electronics industry and supporting the transition toward more sustainable hardware solutions.

Key words: CMOS circuits, energy efficiency, circuit design, Bangladesh, electronics industry

DEVELOPMENT OF SMART ANTENNA SYSTEMS FOR 5G NETWORKS IN BANGLADESH

Assoc. Prof. Dr. Nusrat Jahan, Tariq Mahmud

Faculty of Engineering and Technology, University of Dhaka, Bangladesh

ABSTRACT

This study examines the development of smart antenna systems for 5G networks in Bangladesh, where next-generation communication infrastructure is becoming increasingly important for digital connectivity, mobile service quality, and network capacity. As user demand grows and spectrum efficiency becomes more critical, smart antenna technologies offer a promising approach to improving signal direction, reducing interference, and supporting high-performance wireless communication.

The paper is based on a review of wireless communication and antenna engineering literature. It focuses on beamforming, spatial filtering, adaptive signal control, and multi-antenna configuration as core elements of smart antenna performance. The findings suggest that these systems can strengthen 5G networks by increasing coverage quality, improving data transmission efficiency, and supporting dense urban communication environments. They also offer advantages in managing traffic growth and maintaining stable service in areas with limited network resources.

The study further notes that implementation depends on integration with existing infrastructure, technical expertise, and cost-sensitive deployment strategies. It argues that smart antenna development should be linked to broader planning for digital transformation and telecommunications expansion in Bangladesh. The paper concludes that smart antenna systems represent an important technological direction for building more responsive, efficient, and future-ready 5G networks.

Key words: smart antennas, 5G networks, beamforming, wireless communication, Bangladesh

FAULT-TOLERANT CONTROL SYSTEMS IN INDUSTRIAL ELECTRONICS APPLICATIONS IN ALGERIA

Samira Benali, Yacine Meziane, Prof. Dr. Karim Ould Ahmed

Faculty of Electrical Engineering, University of Algiers, Algeria

ABSTRACT

This paper explores fault-tolerant control systems in industrial electronics applications in Algeria, where reliability, safety, and operational continuity are essential for modern industrial environments. Industrial electronic systems often operate under conditions that involve voltage fluctuations, component wear, and unexpected disturbances. The study examines how fault-tolerant control strategies can help maintain system performance and reduce the impact of technical failures.

The research draws on industrial automation and control systems literature. It focuses on redundancy, fault detection, adaptive control, and reconfiguration methods as core features of resilient electronic systems. The findings suggest that fault-tolerant designs improve stability by allowing systems to continue operating even when certain components fail or underperform. This is especially important in industries where interruptions can affect productivity, equipment lifespan, and safety outcomes.

The paper also highlights the need for practical implementation strategies that match local industrial conditions. In Algeria, where industrial modernization is ongoing, fault-tolerant systems can support more reliable automation and improve the resilience of electronic control architectures. The study concludes that such systems are a key part of industrial innovation and should be integrated into future design and maintenance planning.

Key words: fault tolerance, industrial electronics, control systems, Algeria, automation reliability

DESIGN OF EMBEDDED SYSTEMS FOR SOLAR ENERGY MANAGEMENT IN ALGERIAN DESERT REGIONS

Dr. Rachid Bensouilah, Amel Zerhouni

Faculty of Engineering, University of Oran, Algeria

ABSTRACT

This study investigates the design of embedded systems for solar energy management in Algerian desert regions, where strong solar potential creates important opportunities for sustainable energy use. At the same time, harsh environmental conditions, remote settlements, and limited grid access require energy systems that are efficient, autonomous, and reliable. The paper examines how embedded technologies can support monitoring, regulation, and optimization in solar energy applications.

The study is based on renewable energy and embedded systems literature. It focuses on system control, energy storage coordination, sensor integration, and real-time performance monitoring as important functions of solar management platforms. The findings indicate that embedded systems can improve energy efficiency by regulating power flow, protecting equipment, and adapting to changing environmental conditions. They also provide an effective basis for decentralized energy solutions in desert environments.

The paper further argues that solar management systems should be designed with long-term durability, low maintenance, and adaptive control in mind. In Algerian desert regions, embedded solutions can support both local electrification and broader energy transition goals. The study concludes that embedded systems are essential for making solar energy more usable, stable, and technologically sustainable in remote and climate-challenging areas.

Key words: embedded systems, solar energy management, desert regions, Algeria, renewable technology

APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN ELECTRONIC SIGNAL PROCESSING SYSTEMS IN ALGERIA

Dr. Nabil Khelifi, Youssef Boukhalfa, Dr. Lina Haddadi

Faculty of Electronics and Computer Engineering, University of Constantine, Algeria

ABSTRACT

This study examines the application of machine learning in electronic signal processing systems in Algeria, where intelligent algorithms are increasingly relevant for communication, sensing, and automated analysis. As signal environments become more complex, traditional processing methods may be insufficient for extracting patterns, reducing noise, and adapting to changing conditions. The research explores how machine learning can enhance the performance and flexibility of electronic signal processing systems.

The paper is based on digital signal processing and machine learning literature. It focuses on classification, pattern recognition, adaptive filtering, and predictive modeling as important machine learning functions in electronic systems. The findings suggest that these methods can improve accuracy, reduce processing delays, and support more responsive decision-making in real-time signal environments. They also offer advantages in applications that involve variable or noisy input conditions.

The study also notes that successful implementation requires careful model selection, data quality, and computational efficiency. It argues that machine learning should be used as a complementary tool that strengthens rather than replaces core signal processing principles. In the Algerian context, this approach can support technological development in communications, automation, and intelligent electronics. The paper concludes that machine learning offers a strong pathway for improving signal processing systems and expanding the capabilities of future electronic applications.

Key words: machine learning, signal processing, electronic systems, Algeria, intelligent algorithms

FPGA-BASED DIGITAL SYSTEM DESIGN FOR TELECOMMUNICATION APPLICATIONS IN UKRAINE

Prof. Dr. Oleksandr Kovalenko, Iryna Shevchenko

Faculty of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine, Ukraine

ABSTRACT

This paper investigates FPGA-based digital system design for telecommunication applications in Ukraine, where flexible and high-performance digital hardware is increasingly important for modern communication infrastructure. FPGAs offer adaptable processing capabilities that are well suited to telecom systems requiring speed, configurability, and efficient hardware utilization. The study examines how FPGA design can support communication tasks such as modulation, routing, signal processing, and protocol implementation.

The research is grounded in digital systems and telecommunications engineering literature. It focuses on logic synthesis, parallel processing, system integration, and real-time performance as key elements of FPGA-based design. The findings suggest that FPGA platforms provide significant advantages for telecommunication systems by allowing hardware reconfiguration, improving processing speed, and supporting specialized communication functions. They are especially useful in environments where rapid adaptation and technical flexibility are required.

The paper also emphasizes the importance of balancing performance with design complexity and power use. In Ukraine, FPGA-based solutions can contribute to more resilient and efficient telecommunication infrastructure. The study concludes that digital system design with FPGAs is a valuable approach for advancing communication technology and strengthening the technical base of telecom applications.

Key words: FPGA design, digital systems, telecommunications, Ukraine, hardware flexibility

POWER ELECTRONICS AND SMART GRID INTEGRATION TECHNOLOGIES IN UKRAINIAN ENERGY SYSTEMS

Dr. Dmytro Hrytsenko, Assoc. Prof. Dr. Olha Bondarenko, Taras Melnyk

Faculty of Electrical Power Engineering, National Technical University of Ukraine, Ukraine

ABSTRACT

This study examines power electronics and smart grid integration technologies in Ukrainian energy systems, where modernization, efficiency, and grid stability have become increasingly important. As electricity networks evolve to accommodate renewable sources, distributed generation, and changing demand patterns, power electronic devices play a central role in managing conversion, control, and system coordination. The paper explores how these technologies can support more flexible and resilient energy infrastructures.

The study is based on power systems and smart grid literature. It focuses on converters, inverters, grid interfacing, voltage regulation, and monitoring systems as essential components of modern energy management. The findings suggest that power electronics improve the compatibility of renewable generation with existing grid structures while enabling better control of energy flow and system performance. Smart grid technologies also contribute to more responsive operation, improved reliability, and enhanced efficiency across the network.

The paper further argues that successful integration depends on technical coordination, infrastructure investment, and policy support. In the Ukrainian context, energy system modernization requires solutions that can strengthen stability while supporting transition toward cleaner and more adaptive electricity networks. The study concludes that power electronics and smart grid integration are fundamental to the future development of reliable and sustainable energy systems.

Key words: power electronics, smart grid, energy systems, Ukraine, grid integration

SUSTAINABLE VITICULTURE PRACTICES AND SOIL FERTILITY MANAGEMENT IN MOLDOVAN AGRICULTURAL SYSTEMS

Assoc. Prof. Dr. Elena Rotaru, Sergiu Munteanu

Faculty of Agricultural Sciences, Technical University of Moldova, Moldova

ABSTRACT

This study examines sustainable viticulture practices and soil fertility management in Moldovan agricultural systems, where grape cultivation remains an important component of rural livelihoods, local identity, and agri-food production. The research focuses on how vineyard management strategies can support long-term soil productivity while reducing the environmental pressures associated with intensive farming. In particular, the study explores the relationship between soil health, nutrient balance, organic matter conservation, and vineyard sustainability.

The analysis is grounded in agronomy and soil management literature, with attention to conservation-oriented viticulture methods. It highlights the importance of cover cropping, compost application, reduced tillage, and integrated nutrient management in maintaining soil structure and biological activity. The findings suggest that sustainable vineyard production depends on practices that protect the soil from degradation while supporting stable crop performance. Soil fertility is shown to be closely linked to water retention, microbial diversity, and the responsible use of fertilizers and organic amendments.

The study also emphasizes that Moldovan viticulture must respond to climate variability and changing production demands. Sustainable soil management is therefore not only a technical issue but also a strategic one, affecting productivity, environmental resilience, and the future viability of agricultural landscapes. The paper argues that farmer training, policy support, and extension services are essential for promoting wider adoption of sustainable practices. It concludes that viticulture in Moldova can remain economically productive and environmentally responsible when soil fertility management is treated as a long-term priority within rural agricultural planning.

Key words: sustainable viticulture, soil fertility, Moldova, vineyard management, agricultural sustainability

CLIMATE CHANGE ADAPTATION STRATEGIES FOR CROP PRODUCTION IN MOLDOVA'S RURAL AREAS

Prof. Dr. Ion Luca, Maria Ceban, Andrei Vicol

Faculty of Agriculture, State University of Moldova, Moldova

ABSTRACT

This paper explores climate change adaptation strategies for crop production in Moldova's rural areas, where shifting rainfall patterns, temperature variability, and increased weather extremes are affecting agricultural stability. Crop farming remains highly dependent on seasonal conditions, making adaptation a central concern for food security, rural income, and sustainable land use. The study examines how farmers and agricultural institutions can respond to these environmental pressures through practical and context-sensitive strategies.

The research is based on climate adaptation and agricultural systems literature. It highlights key approaches such as crop diversification, improved irrigation management, drought-tolerant varieties, soil moisture conservation, and adjusted planting calendars. The findings suggest that adaptation is most effective when it combines technical measures with local knowledge and institutional support. The study also notes that smallholder farmers face specific challenges in accessing inputs, weather information, and investment for adaptive practices.

The paper argues that climate resilience in Moldovan agriculture requires more than short-term coping responses. It depends on long-term planning, extension support, and policies that encourage flexible and environmentally responsible crop production. The study concludes that rural agriculture in Moldova can remain viable under climate stress when adaptation is embedded in everyday farming decisions and supported through coordinated public action.

Key words: climate adaptation, crop production, rural Moldova, agricultural resilience, farming systems

RICE PRODUCTION OPTIMIZATION THROUGH PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES IN BANGLADESH

Dr. Rahman Siddique, Farzana Akter, Mahmudul Hasan, Tariq Islam

Faculty of Agriculture, Bangladesh Agricultural University, Bangladesh

ABSTRACT

This study investigates the optimization of rice production through precision agriculture technologies in Bangladesh, where rice remains the foundation of food security and rural livelihoods. The research explores how modern digital tools can improve crop management, increase efficiency, and support more sustainable rice farming systems. With rising pressure on land, water, and input use, precision agriculture offers a way to align productivity goals with resource conservation.

The study is based on literature from agronomy, digital farming, and crop management. It focuses on the use of technologies such as field sensors, satellite-based monitoring, variable input application, and data-supported decision-making. The findings suggest that precision agriculture can help farmers better match fertilizer use, irrigation timing, and field treatment to crop needs. This can improve rice growth while reducing waste, production costs, and environmental stress.

The paper also notes that adoption depends on access to training, affordability, and practical relevance for small and medium farms. It argues that technology should not be introduced as a stand-alone solution, but as part of a broader agricultural support system. The study concludes that precision farming can contribute significantly to rice production optimization in Bangladesh when combined with extension services, farmer education, and policy support.

Key words: precision agriculture, rice production, Bangladesh, digital farming, crop optimization

**SALINITY MANAGEMENT AND ITS IMPACT ON AGRICULTURAL
PRODUCTIVITY IN COASTAL BANGLADESH**

Dr. Kamal Uddin, Nusrat Jahan
Faculty of Agriculture, Khulna University, Bangladesh

ABSTRACT

This paper examines salinity management and its impact on agricultural productivity in coastal Bangladesh, where seawater intrusion, tidal movement, and changing rainfall patterns continue to threaten farming systems. Salinity has become one of the most serious environmental constraints in the coastal belt, affecting soil quality, crop performance, and farmer livelihoods. The study investigates how salinity management strategies can reduce damage and support more stable agricultural production.

The research draws on soil science and coastal agriculture literature. It focuses on adaptation measures such as salt-tolerant crop selection, improved drainage, freshwater conservation, soil amendment, and modified irrigation practices. The findings suggest that salinity affects not only crop yields but also soil structure, nutrient availability, and long-term land productivity. The study also highlights the role of local knowledge and field-level adaptation in managing saline conditions.

The paper argues that sustainable agriculture in coastal Bangladesh requires integrated salinity control rather than isolated technical fixes. Effective management depends on coordinated water governance, crop planning, and support for farming communities exposed to environmental stress. The study concludes that salinity management is essential for protecting agricultural productivity and rural food security in coastal regions.

Key words: salinity management, coastal agriculture, Bangladesh, soil productivity, crop adaptation

DESERT AGRICULTURE INNOVATIONS FOR WATER-EFFICIENT CROP CULTIVATION IN ALGERIA

Dr. Ahmed Benali, Samira Toumi, Yacine Boudiaf

Faculty of Agricultural Sciences, University of Algiers, Algeria

ABSTRACT

This study explores desert agriculture innovations for water-efficient crop cultivation in Algeria, where limited rainfall, high evaporation, and fragile soils make sustainable farming especially difficult. Agriculture in arid environments requires techniques that minimize water loss while supporting productive and resilient crop systems. The research examines how innovation in irrigation, crop selection, and soil management can improve agricultural viability in desert regions.

The paper is based on literature related to arid agriculture, water management, and sustainable farming systems. It highlights strategies such as drip irrigation, moisture conservation, protected cultivation, drought-resistant crops, and improved soil conditioning. The findings suggest that water-efficient agriculture depends on combining traditional adaptation practices with modern technical solutions. The study also notes that success in desert farming requires careful attention to local climatic conditions and resource limitations.

The paper argues that agricultural innovation in Algeria should be understood as a practical response to environmental scarcity and rural development needs. It concludes that desert agriculture can contribute to food production and livelihood stability when supported by research, extension services, and sustainable water governance.

Key words: desert agriculture, water efficiency, Algeria, arid farming, crop cultivation

AGROFORESTRY SYSTEMS AND BIODIVERSITY CONSERVATION IN NORTHERN ALGERIAN REGIONS

Assoc. Prof. Dr. Karim Belhadi, Lina Cherif, Nadir Meziane, Salima Ould

Faculty of Forestry and Agricultural Sciences, University of Constantine, Algeria

ABSTRACT

This study examines agroforestry systems and their contribution to biodiversity conservation in northern Algerian regions. Agroforestry has gained attention as a sustainable land-use strategy that combines agricultural production with ecological protection. In landscapes facing soil degradation, habitat loss, and pressure from intensive farming, agroforestry offers a way to support both rural livelihoods and environmental stability.

The research draws on agroecology and biodiversity conservation literature. It focuses on tree-crop integration, habitat diversity, soil improvement, and microclimatic regulation as major benefits of agroforestry systems. The findings suggest that agroforestry can enhance species diversity, improve soil structure, and reduce erosion while maintaining productive agricultural use. The study also notes that mixed systems are often more resilient to climatic stress than simplified monoculture landscapes.

The paper argues that agroforestry should be promoted not only as a conservation strategy but also as a practical development model for northern Algeria. It requires institutional support, farmer participation, and land-use planning that values ecological functions alongside production goals. The study concludes that agroforestry can play a meaningful role in conserving biodiversity while strengthening the sustainability of agricultural landscapes.

Key words: agroforestry, biodiversity conservation, northern Algeria, sustainable land use, ecological resilience

SOIL EROSION CONTROL METHODS AND THEIR EFFECTIVENESS IN ALGERIAN HIGHLAND FARMING

Assis. Prof. Dr. Mourad Ziani, Amina Ferhat
Faculty of Agriculture, University of Setif, Algeria

ABSTRACT

This paper investigates soil erosion control methods and their effectiveness in Algerian highland farming, where sloping terrain, rainfall variability, and land degradation create major challenges for agricultural sustainability. Soil erosion threatens productivity, reduces fertility, and increases the difficulty of maintaining stable rural livelihoods. The study explores how physical, biological, and management-based control measures can reduce erosion and support long-term land use.

The research is grounded in soil conservation and mountain agriculture literature. It examines terracing, contour farming, vegetation cover, wind barriers, and conservation tillage as major approaches to erosion control. The findings suggest that the effectiveness of these methods depends on slope conditions, local climate, soil type, and farmer participation. The study also highlights that erosion control is most successful when it is integrated into broader land management practices rather than applied in isolation.

The paper argues that highland farming in Algeria requires sustained investment in conservation-oriented agriculture. It concludes that erosion control methods can protect soil resources and improve productivity when they are adapted to local conditions and supported through extension services and rural policy.

Key words: soil erosion, highland farming, Algeria, soil conservation, agricultural sustainability

PRECISION FARMING TECHNOLOGIES FOR WHEAT PRODUCTION IN UKRAINIAN AGRICULTURAL ENTERPRISES

Dr. Oleksandr Shevchenko, Iryna Kovalenko, Mykola Bondar

Faculty of Agricultural Engineering, National University of Life and Environmental Sciences
of Ukraine, Ukraine

ABSTRACT

This study examines precision farming technologies for wheat production in Ukrainian agricultural enterprises, where efficiency, input optimization, and climate variability are central concerns. Wheat remains a key crop in Ukraine's agricultural economy, and precision technologies offer a way to improve productivity while reducing unnecessary resource use. The research explores how modern tools can support better decision-making in planting, fertilization, irrigation, and crop monitoring.

The paper is based on agronomy and digital agriculture literature. It focuses on technologies such as GPS-guided machinery, remote sensing, yield mapping, and variable-rate application systems. The findings suggest that precision farming can improve wheat production by aligning management practices with field variability and crop needs. It also helps reduce input losses, increase operational efficiency, and support more sustainable enterprise-level farming.

The study further notes that adoption depends on investment capacity, technical training, and integration with existing farm structures. It argues that precision agriculture should be understood as part of a broader modernization process in Ukrainian farming rather than as a purely technological upgrade. The study concludes that wheat production can become more resilient and efficient when precision tools are used in combination with informed management and strategic planning.

Key words: precision farming, wheat production, Ukraine, agricultural enterprises, digital agriculture

EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ON ZOO NOTIC DISEASES IN LIVESTOCK POPULATIONS IN RURAL ROMANIA

Dr. Ana Marinescu

Faculty of Veterinary Medicine, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine
of Cluj-Napoca, Romania

ABSTRACT

This study examines the epidemiology of zoonotic diseases in livestock populations in rural Romania, where animal husbandry remains an essential part of local livelihoods and food production. Rural livestock systems are often affected by limited veterinary access, variable biosecurity, and close human-animal contact, all of which increase the importance of zoonotic disease surveillance. The paper explores how livestock health conditions influence both animal productivity and public health risk in agricultural communities.

The study is based on veterinary epidemiology literature and rural animal health research. It considers the role of herd management, movement patterns, sanitation practices, and farm-level prevention in the spread of zoonotic infections. The findings suggest that disease transmission is shaped by farm structure, veterinary service availability, and the degree of contact between animals, workers, and local environments. The analysis also highlights the importance of early detection and routine monitoring in reducing the public health burden of livestock-associated diseases.

The paper argues that zoonotic disease control in rural Romania requires an integrated approach that combines animal health surveillance, farmer education, and coordination between veterinary and public health authorities. Strengthening preventive systems can improve both livestock productivity and community safety. The study concludes that epidemiological understanding of zoonotic diseases is essential for developing more resilient rural veterinary systems and for supporting sustainable agriculture in Romania.

Key words: zoonotic diseases, livestock epidemiology, rural Romania, veterinary public health, disease surveillance

ADVANCES IN VETERINARY VACCINATION STRATEGIES FOR CATTLE HEALTH MANAGEMENT IN ROMANIAN FARMS

Dr. Sorin Georgescu, Prof. Dr. Andrei Popa, Dr. Elena Ionescu, Mihai Dumitrescu

Faculty of Veterinary Medicine, University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

This paper investigates recent advances in veterinary vaccination strategies for cattle health management in Romanian farms. Cattle production remains a major component of agricultural livelihoods, and disease prevention is central to maintaining herd health, productivity, and farm sustainability. The study examines how vaccination programs can be adapted to changing disease patterns, farm conditions, and veterinary service capacities.

The research is grounded in veterinary preventive medicine literature and cattle health management studies. It focuses on immunization planning, herd-level disease control, vaccine coverage, and the role of veterinary guidance in implementing effective prevention programs. The findings suggest that vaccination strategies are most effective when they are integrated into broader herd management systems that include biosecurity, nutrition, and regular health monitoring. The study also notes that farmer awareness and veterinary access are important factors in program success.

The paper argues that cattle vaccination should be understood as a proactive health strategy rather than a reactive response to outbreaks. In Romanian farms, sustainable vaccination programs can reduce disease incidence, improve animal welfare, and support stable livestock production. The study concludes that advances in vaccination must be accompanied by institutional support, veterinary training, and consistent disease surveillance in order to strengthen cattle health management.

Key words: veterinary vaccination, cattle health, Romanian farms, disease prevention, herd management

PARASITOLOGICAL ANALYSIS OF SHEEP AND GOAT DISEASES IN MOROCCAN AGRICULTURAL SYSTEMS

Dr. Youssef El Idrissi, Fatima Zahra Bennani, Khalid Amrani

Faculty of Veterinary Sciences, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

This study presents a parasitological analysis of sheep and goat diseases in Moroccan agricultural systems, where small ruminants play a central role in rural livelihoods, meat production, and household income. Parasitic infections remain a persistent challenge in these systems because of grazing practices, climate variability, and limited access to veterinary services. The paper explores the impact of parasitic disease on animal health, productivity, and farm sustainability.

The study is based on parasitology and livestock health literature, with attention to field-level disease patterns in small ruminant populations. It examines how internal and external parasites affect growth, reproduction, feed efficiency, and general well-being. The findings suggest that parasitic burden is shaped by seasonal conditions, pasture management, and preventive treatment practices. The study also highlights the need for regular diagnosis and timely intervention to reduce production losses.

The paper argues that parasitological control in Moroccan agricultural systems should combine treatment, prevention, and farmer education. Sustainable management depends on monitoring parasite distribution, improving veterinary access, and encouraging better herd hygiene. The study concludes that effective parasitological analysis is essential for protecting small ruminant health and supporting rural agricultural resilience in Morocco.

Key words: parasitology, sheep and goats, Morocco, livestock health, disease control

VETERINARY PUBLIC HEALTH APPROACHES TO CONTROL RABIES IN NORTH AFRICAN URBAN AREAS

Dr. Hassan Alaoui, Nadia El Fassi

Faculty of Veterinary Medicine, Hassan II University, Morocco

ABSTRACT

This study examines veterinary public health approaches to controlling rabies in North African urban areas, where dense human populations, stray animal movement, and gaps in prevention services create ongoing risk. Rabies remains a serious public health concern because it links animal disease control directly to human health protection. The paper explores how urban veterinary systems can contribute to prevention, surveillance, and community safety.

The research is based on veterinary public health and zoonotic disease control literature. It focuses on vaccination campaigns, stray animal management, public education, diagnostic support, and coordination between municipal and health authorities. The findings suggest that rabies control is most effective when it combines animal immunization with community awareness and rapid response to suspected cases. The study also notes that weak intersectoral cooperation can limit the effectiveness of prevention programs.

The paper argues that urban rabies control should be approached through a One Health perspective that connects veterinary medicine, public health, and local governance. In North African cities, sustainable prevention depends on long-term planning, public engagement, and consistent veterinary service delivery. The study concludes that rabies control can be significantly strengthened when authorities invest in integrated urban health systems and community-based prevention measures.

Key words: rabies control, veterinary public health, urban areas, North Africa, zoonotic prevention

MOLECULAR DIAGNOSIS OF AVIAN INFLUENZA VIRUSES IN EGYPTIAN POULTRY FARMS

Dr. Mahmoud Abdelrahman, Salma Hassan, Prof. Dr. Tarek El-Sayed

Faculty of Veterinary Medicine, Cairo University, Egypt

ABSTRACT

This study investigates molecular diagnostic approaches for avian influenza viruses in Egyptian poultry farms, where rapid disease detection is essential for protecting poultry health and limiting economic losses. Poultry production is an important agricultural sector in Egypt, and viral outbreaks can have serious consequences for food security, trade, and farm sustainability. The paper explores the value of molecular tools in improving diagnosis and outbreak response.

The study is grounded in veterinary virology and poultry health literature. It focuses on the use of molecular methods for identifying viral presence, supporting early detection, and distinguishing circulating strains. The findings suggest that molecular diagnosis offers greater precision and speed than conventional methods, making it highly useful for farm surveillance and outbreak management. The study also highlights the importance of laboratory capacity, sample handling, and veterinary coordination in ensuring reliable results.

The paper argues that molecular diagnostics should be integrated into broader poultry health management systems. Early identification of infection can help reduce transmission, support targeted intervention, and improve biosecurity planning. The study concludes that strengthening molecular diagnostic capacity is essential for effective avian influenza control in Egyptian poultry farms and for protecting the wider livestock sector.

Key words: avian influenza, molecular diagnosis, poultry farms, Egypt, veterinary virology

NUTRITIONAL MANAGEMENT AND GROWTH PERFORMANCE IN CAMELS UNDER ARID EGYPTIAN CONDITIONS

Assoc. Prof. Dr. Hany Farouk, Omar Khalifa, Mona Fathy

Faculty of Veterinary Medicine, Suez Canal University, Egypt

ABSTRACT

This study examines nutritional management and growth performance in camels under arid Egyptian conditions, where harsh climate, scarce forage, and variable water access shape animal productivity. Camels are well adapted to desert environments, yet their growth and health still depend on appropriate feeding strategies and careful management. The paper explores how nutritional planning can support better performance in arid production systems.

The study is based on camel nutrition and arid livestock management literature. It considers feed quality, energy balance, water use, and the role of supplementation in supporting growth and body condition. The findings suggest that nutritional outcomes are strongly affected by forage availability, seasonal variation, and husbandry practices. The study also notes that balanced feeding can improve growth rates, resilience, and overall herd condition even in difficult environmental settings.

The paper argues that camel nutrition should be treated as a strategic component of arid livestock development. Effective management requires locally adapted feeding programs, better access to quality feed resources, and attention to seasonal stress. The study concludes that improved nutritional practices can strengthen camel productivity and support sustainable livestock systems in desert regions of Egypt.

Key words: camel nutrition, growth performance, arid conditions, Egypt, livestock management

ANTIMICROBIAL RESISTANCE PATTERNS IN DAIRY CATTLE PATHOGENS IN EGYPT

Dr. Rania Mostafa, Ahmed Nabil, Assis. Prof. Dr. Kareem Adel

Faculty of Veterinary Medicine, Alexandria University, Egypt

ABSTRACT

This paper investigates antimicrobial resistance patterns in dairy cattle pathogens in Egypt, where the treatment of infectious diseases is increasingly complicated by reduced drug effectiveness. Dairy cattle health is closely linked to milk productivity, animal welfare, and farm profitability, making resistance monitoring an important veterinary priority. The study examines how resistance emerges and what it means for disease control in dairy systems.

The research is based on veterinary microbiology and antimicrobial resistance literature. It focuses on pathogen diversity, treatment history, drug exposure, and the importance of routine surveillance in identifying resistance trends. The findings suggest that resistance patterns are influenced by antibiotic use practices, farm-level biosecurity, and the availability of diagnostic support. The study also highlights the need for responsible treatment strategies and improved veterinary oversight.

The paper argues that antimicrobial resistance in dairy cattle should be addressed through prevention, diagnosis, and stewardship rather than reliance on repeated treatment. Strengthening laboratory monitoring, guiding antibiotic selection, and promoting better herd hygiene are central to reducing risk. The study concludes that managing resistance is essential for protecting dairy cattle health and maintaining the sustainability of livestock production in Egypt.

Key words: antimicrobial resistance, dairy cattle, Egypt, veterinary pathogens, disease management

DIAGNOSTIC IMAGING TECHNIQUES IN SMALL ANIMAL VETERINARY PRACTICE IN UKRAINE

Prof. Dr. Oleksandr Shevchenko, Iryna Kovalenko, Olha Tkachenko

Faculty of Veterinary Medicine, National University of Life and Environmental Sciences of
Ukraine, Ukraine

ABSTRACT

This study explores diagnostic imaging techniques in small animal veterinary practice in Ukraine, where modern imaging has become an important tool for accurate diagnosis and treatment planning. Companion animal medicine increasingly depends on technologies that allow veterinarians to detect internal disorders, assess injury, and guide clinical decision-making. The paper examines the role of imaging in improving the quality of small animal care.

The study is based on veterinary diagnostic literature and clinical imaging research. It focuses on radiography, ultrasonography, and other imaging methods used in routine and specialized practice. The findings suggest that imaging improves diagnostic confidence, supports earlier intervention, and helps veterinarians evaluate treatment outcomes more effectively. The study also emphasizes the importance of technical training, equipment access, and interpretation skills in ensuring reliable use of imaging tools.

The paper argues that diagnostic imaging should be viewed as an essential part of contemporary veterinary practice rather than as an optional supplement. In Ukraine, strengthening access to imaging technology can improve animal welfare, clinical accuracy, and veterinary service quality. The study concludes that expanding imaging capacity and professional training is important for the advancement of small animal veterinary medicine.

Key words: diagnostic imaging, small animals, veterinary practice, Ukraine, clinical diagnosis

REPRODUCTIVE HEALTH MANAGEMENT IN HORSES IN UKRAINIAN EQUINE CLINICS

Dr. Natalia Bondarenko, Andrii Melnyk

Faculty of Veterinary Medicine, Kharkiv State Zooveterinary Academy, Ukraine

ABSTRACT

This study examines reproductive health management in horses in Ukrainian equine clinics, where breeding success, animal welfare, and veterinary expertise are closely interconnected. Equine reproduction requires careful monitoring, timely intervention, and specialized clinical support in order to maintain fertility and support healthy foal development. The paper explores the main clinical and management practices used in reproductive care.

The research is based on equine veterinary literature and reproductive management studies. It focuses on fertility assessment, breeding season planning, reproductive monitoring, and the detection of reproductive disorders. The findings suggest that effective reproductive health management depends on early diagnosis, routine follow-up, and coordination between veterinarians and horse owners. The study also notes that nutrition, stress, and general health are important factors influencing reproductive performance.

The paper argues that equine reproductive care should be treated as a specialized branch of veterinary practice requiring both technical knowledge and careful management. In Ukrainian clinics, improved reproductive services can support better breeding outcomes and strengthen the quality of equine care. The study concludes that reproductive health management plays a central role in maintaining horse productivity, welfare, and long-term veterinary success.

Key words: equine reproduction, reproductive health, veterinary clinics, Ukraine, horse management

SUSTAINABLE URBAN REGENERATION STRATEGIES IN POST-COMMUNIST ROMANIAN CITIES

Assoc. Prof. Dr. Ahmed El-Sherif, Mona Hassan, Karim Abdelrahman
Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

This study explores sustainable urban regeneration strategies in post-communist Romanian cities, where the transition from centrally planned urban development to market-oriented growth has produced fragmented urban fabrics, underused land, and uneven social development. Many cities in Romania continue to face the legacy of industrial decline, spatial polarization, and deteriorated public spaces, making regeneration a central issue in contemporary planning and urban policy. The paper examines how sustainable strategies can support physical renewal while also addressing social inclusion, cultural identity, and long-term environmental quality.

The study is based on a review of urban regeneration literature, planning policy documents, and comparative studies of post-socialist city transformation. It focuses on the relationship between adaptive urban renewal, heritage conservation, public space improvement, and community participation. The findings suggest that regeneration efforts are most effective when they combine spatial improvement with social and economic revitalization. Rather than relying only on large-scale redevelopment, successful strategies often build on local identity, mixed-use development, and the rehabilitation of existing urban assets.

The paper also emphasizes the importance of integrating sustainability into regeneration policy. In post-communist cities, this means addressing housing quality, mobility, green infrastructure, and the reuse of vacant or degraded land in ways that support both ecological balance and urban liveability. The study argues that urban regeneration should be understood as a long-term process of restructuring the city while preserving its historical continuity and responding to contemporary needs. It concludes that sustainable regeneration can help Romanian cities move beyond post-socialist transition toward more resilient, inclusive, and adaptable urban futures.

Key words: urban regeneration, post-communist cities, sustainability, Romania, urban transformation

ADAPTIVE REUSE OF INDUSTRIAL HERITAGE BUILDINGS IN BUCHAREST METROPOLITAN AREA

Dr. Youssef El Amrani, Fatima Zahra El Idrissi, Hassan Benali, Nadia Tazi

Faculty of Architecture, Polytechnic University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

This study investigates the adaptive reuse of industrial heritage buildings in the Bucharest metropolitan area, where deindustrialization has left behind a large stock of obsolete factories, warehouses, and production spaces. These structures are increasingly recognized not only as remnants of the industrial past but also as valuable spatial resources that can support contemporary urban development. The research explores how adaptive reuse can contribute to heritage preservation, economic renewal, and urban sustainability.

The study draws on industrial heritage literature, regeneration theory, and architectural conservation research. It examines the potential of reuse strategies to preserve historic character while introducing new functions such as cultural venues, creative industries, education, housing, and commercial activity. The findings indicate that adaptive reuse can reduce demolition waste, extend building life cycles, and strengthen local identity when it is guided by context-sensitive design and regulatory support.

The paper also considers the challenges of reuse, including structural deterioration, ownership fragmentation, investment constraints, and the need to reconcile conservation goals with contemporary spatial demands. It argues that industrial heritage should be treated as an active component of the city rather than as a frozen relic of the past. In the Bucharest context, adaptive reuse can help reconnect neglected districts with the wider metropolitan fabric and generate new forms of urban vitality. The study concludes that industrial heritage reuse offers a sustainable and culturally meaningful approach to urban transformation in post-industrial cities.

Key words: adaptive reuse, industrial heritage, Bucharest, urban regeneration, heritage conservation

TRADITIONAL MOROCCAN COURTYARD ARCHITECTURE AND ITS CLIMATE-RESPONSIVE DESIGN PRINCIPLES

Prof. Dr. Khalid Bouhaddou, Samira Lahlou

Faculty of Architecture and Landscape Design, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

This paper examines traditional Moroccan courtyard architecture and the climate-responsive design principles embedded in its spatial organization. In hot and variable climates, courtyard houses have historically provided effective environmental comfort through natural ventilation, shading, thermal moderation, and protected private space. The study explores how these architectural traditions offer valuable lessons for contemporary sustainable design.

The research is grounded in architectural history, environmental design, and vernacular building studies. It focuses on key elements such as inward-oriented layouts, thick walls, water features, shaded circulation zones, and the use of local materials. The findings show that courtyard architecture creates microclimatic advantages by reducing heat gain and improving indoor comfort without reliance on mechanical systems. It also supports social life, privacy, and family interaction, making it both environmentally and culturally adaptive.

The paper further argues that traditional courtyard principles remain relevant in modern architecture, especially in regions facing heat stress and energy concerns. Rather than viewing vernacular design as outdated, the study presents it as a model of climate intelligence that can inform contemporary urban housing and public buildings. The paper concludes that Moroccan courtyard architecture represents a strong example of how heritage-based design can contribute to sustainable, culturally grounded, and climate-responsive environments.

Key words: courtyard architecture, Moroccan vernacular design, climate responsiveness, sustainable architecture, thermal comfort

URBAN MORPHOLOGY AND INFORMAL SETTLEMENT DEVELOPMENT IN CASABLANCA PERIPHERIES

Assoc. Prof. Dr. Cristina Marinescu, Radu Georgescu

Faculty of Urban Studies, University of Casablanca, Morocco

ABSTRACT

This study explores the relationship between urban morphology and informal settlement development in the peripheries of Casablanca. Rapid urban growth, housing shortages, and uneven access to land have contributed to the expansion of informal neighborhoods at the city's edge. The research examines how spatial form, infrastructure gaps, and planning limitations shape the development of these settlements and influence broader patterns of metropolitan growth.

The study is based on urban morphology and informal urbanization literature. It focuses on the spatial logic of peripheral settlement formation, including plot fragmentation, incremental construction, road irregularity, and the limited presence of public services. The findings suggest that informal settlements are not simply disconnected spaces, but dynamic urban forms that respond to social need, economic constraint, and spatial exclusion. Their morphology reflects both adaptation and marginalization within the metropolitan system.

The paper argues that informal settlement development should be understood as part of the broader urban structure rather than as a separate phenomenon. In Casablanca, more inclusive planning approaches are needed to connect peripheral neighborhoods to infrastructure, public space, and mobility networks. The study concludes that better understanding of urban morphology can support more effective policy responses and contribute to more equitable urban development in the city's expanding peripheries.

Key words: urban morphology, informal settlements, Casablanca, peripheral development, urban planning

PASSIVE COOLING TECHNIQUES IN VERNACULAR EGYPTIAN DESERT ARCHITECTURE

Prof. Dr. Andrei Popa, Elena Ionescu, Mihai Dumitrescu

Faculty of Architecture, Alexandria University, Egypt

ABSTRACT

This study investigates passive cooling techniques in vernacular Egyptian desert architecture and their relevance for sustainable building design. In hot arid environments, traditional architecture developed a range of strategies for reducing heat gain and improving thermal comfort without mechanical systems. The paper examines these techniques as part of a broader environmental knowledge system shaped by climate, material availability, and local building practice.

The research draws on vernacular architecture, environmental design, and sustainable construction literature. It focuses on architectural features such as narrow openings, thick walls, shaded courtyards, wind capture, high ceilings, and the use of earth-based materials. The findings show that these design elements work together to create stable indoor conditions and reduce dependence on energy-intensive cooling systems. They also reflect a deep understanding of local climate behavior and settlement adaptation.

The paper further argues that passive cooling strategies from vernacular architecture should inform contemporary sustainable design in desert regions. Rather than relying exclusively on modern technologies, architects and planners can adapt proven traditional principles to current building needs. The study concludes that vernacular Egyptian desert architecture offers important lessons for climate-responsive design, energy efficiency, and the development of environmentally appropriate buildings in hot regions.

Key words: passive cooling, vernacular architecture, Egyptian desert, climate-responsive design, sustainable building

SMART CITY IMPLEMENTATION AND HERITAGE CONSERVATION IN HISTORIC CAIRO DISTRICTS

Dr. Laila Naguib, Youssef Hamdy, Nour El-Din Farouk

Faculty of Urban and Regional Planning, Cairo University, Egypt

ABSTRACT

This paper examines the relationship between smart city implementation and heritage conservation in historic districts of Cairo. As digital governance, data-driven planning, and urban technology become central to contemporary city management, questions arise about how these tools interact with the preservation of historic urban fabric. The study explores whether smart city initiatives can support conservation goals while also improving urban services and management efficiency.

The research is based on smart city and heritage planning literature, with attention to the complex spatial, social, and administrative conditions of historic Cairo. It considers the potential of digital mapping, monitoring systems, mobility management, and public service coordination in areas where heritage assets and dense urban life coexist. The findings suggest that smart technologies can contribute positively to conservation when they are applied in ways that respect the character, scale, and social use of historic neighborhoods.

The paper also warns that overly technical approaches may weaken local identity or encourage interventions that privilege efficiency over cultural continuity. It argues that smart city planning in historic districts should be guided by conservation principles, community participation, and sensitivity to place. The study concludes that digital urban innovation and heritage protection are not opposing goals; rather, they can be mutually supportive when planning frameworks are carefully integrated.

Key words: smart city, heritage conservation, historic Cairo, digital planning, urban management

WATERFRONT URBAN DESIGN AND RESILIENCE STRATEGIES ALONG THE NILE RIVER IN EGYPT

Prof. Dr. Mahmoud El-Gohary, Salma Fathy
Faculty of Engineering, Ain Shams University, Egypt

ABSTRACT

This study explores waterfront urban design and resilience strategies along the Nile River in Egypt, where riverfront areas play an important role in urban life, landscape identity, and environmental regulation. As cities continue to expand along the river, waterfronts must address both public use and vulnerability to flooding, erosion, and ecological stress. The paper investigates how urban design can support resilience while enhancing the social and spatial quality of riverfront environments.

The research is based on waterfront planning, resilience theory, and landscape urbanism literature. It focuses on the design of public access, green corridors, flood-sensitive edges, mixed-use interfaces, and environmentally responsive open spaces. The findings suggest that resilient waterfronts should combine ecological protection with inclusive public realm design. In the Nile context, this means creating spaces that can adapt to water variation while offering recreational, cultural, and social value.

The study also emphasizes the importance of integrating riverfront development with broader urban and environmental planning. Rather than treating the waterfront as a disconnected linear project, the paper argues for a coordinated strategy that links mobility, public space, and ecological continuity. The study concludes that Nile waterfront design has the potential to strengthen urban resilience, support environmental stewardship, and improve the relationship between Egyptian cities and their river landscapes.

Key words: waterfront design, Nile River, urban resilience, public space, landscape planning

POST-WAR RECONSTRUCTION AND URBAN IDENTITY IN UKRAINIAN CITIES

Dr. Natalia Bondarenko, Andrii Melnyk

Faculty of Architecture and Urban Planning, National University of Kyiv, Ukraine

ABSTRACT

This study examines post-war reconstruction and urban identity in Ukrainian cities, where large-scale destruction has created urgent planning, social, and cultural challenges. Reconstruction is not only a technical process of rebuilding damaged structures but also an opportunity to redefine urban identity, collective memory, and spatial continuity. The paper explores how cities can recover in ways that support both functional repair and symbolic renewal.

The study is based on literature concerning post-conflict reconstruction, urban identity, and resilient planning. It considers the importance of historical preservation, public space restoration, housing renewal, and community participation in post-war urban recovery. The findings suggest that reconstruction strategies are strongest when they recognize the emotional and cultural significance of places, rather than focusing solely on physical infrastructure. Built form, street patterns, and civic landmarks all play a role in shaping how residents reconnect with their cities.

The paper argues that post-war urban development must balance modernization with memory. In Ukrainian cities, reconstruction should aim to create safer, more inclusive, and more adaptable environments while also preserving meaningful traces of urban history. The study concludes that rebuilding after war offers an opportunity to strengthen urban identity and develop planning approaches rooted in resilience, dignity, and long-term social recovery.

Key words: post-war reconstruction, urban identity, Ukrainian cities, resilient planning, urban recovery

APPLICATION OF AUTOMORPHISM GROUPS IN GRAPH THEORY AND THEIR IMPLICATIONS FOR NETWORK STRUCTURES

Assis. Prof. Dr. Aram Karapetyan

Faculty of Mathematics and Computer Science, Yerevan State University, Armenia

ABSTRACT

This study investigates the application of automorphism groups in graph theory and their significance for the structural analysis of complex networks. Automorphisms provide a rigorous way to describe symmetry in graphs, allowing researchers to identify invariant properties, classify equivalent nodes, and understand how local connectivity patterns influence global network behavior. The paper emphasizes that graph symmetries are not merely abstract mathematical features but useful analytical tools for studying communication systems, biological networks, transportation layouts, and information structures.

The study is based on a conceptual and theoretical review of recent graph-theoretic literature. It examines how automorphism groups can simplify the analysis of large networks by reducing redundancy and revealing structural regularities. In many cases, symmetry helps distinguish stable substructures, identify clustering tendencies, and support algorithmic efficiency in network comparison. The paper also discusses the role of group-theoretic methods in describing network resilience, network equivalence, and the preservation of functional relationships under structural transformations.

The findings suggest that automorphism-based methods are especially valuable when networks exhibit repeated patterns or hierarchical organization. They can be used to improve graph isomorphism analysis, enhance pattern detection, and support applications in computational mathematics. The study further argues that symmetry analysis contributes to a deeper understanding of how structural order affects robustness and connectivity in complex systems. It concludes that automorphism groups remain an essential bridge between pure graph theory and practical network science, offering both theoretical insight and computational advantages in the analysis of structured data.

Key words: graph theory, automorphism groups, network structures, symmetry analysis, combinatorial mathematics

RECENT ADVANCES IN PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS: ANALYSIS AND COMPUTATION

Dr. Narine Melikyan

Faculty of Mathematics, Armenian National University, Armenia

ABSTRACT

This paper explores recent advances in partial differential equations, with a particular focus on analytical methods and computational approaches used to study modern mathematical models. Partial differential equations remain central to the description of natural and engineered processes, including heat transfer, fluid motion, wave propagation, and diffusion phenomena. The study examines how contemporary research combines theoretical analysis with numerical computation to address increasingly complex problems.

The research is based on a review of recent mathematical literature and methodological developments in the field. It highlights major analytical tools such as existence and uniqueness theory, regularity analysis, weak solutions, and boundary value formulations. At the same time, it considers numerical methods that allow researchers to approximate solutions for nonlinear or high-dimensional systems that cannot be solved explicitly. The paper shows that the interaction between analysis and computation is essential for advancing both theory and application.

The findings suggest that modern partial differential equation research increasingly depends on interdisciplinary methods that connect mathematics with physics, engineering, and computational science. The study also emphasizes the importance of stability, convergence, and error estimation in reliable simulation. It concludes that advances in partial differential equations are expanding the capacity of mathematical modeling while deepening understanding of dynamic processes in science and technology.

Key words: partial differential equations, mathematical analysis, numerical computation, boundary value problems, scientific modeling

ASYMPTOTIC ANALYSIS OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS IN PHYSICAL MODELLING

Dr. Lilit Harutyunyan, Prof. Dr. Vahan Manukyan

Faculty of Physics and Mathematics, Yerevan State University, Armenia

ABSTRACT

This study examines the asymptotic analysis of nonlinear dynamical systems and its role in physical modelling. Nonlinear systems are widely used to describe processes that evolve over time in physics, engineering, and applied mathematics, especially when interactions produce behavior that cannot be captured through linear approximations. The paper focuses on how asymptotic methods help reveal long-term system behavior, stability properties, and transition patterns in complex physical models.

The research is based on theoretical analysis and the study of mathematical approaches commonly used in nonlinear dynamics. It discusses perturbation methods, limit behavior, invariant sets, and attractor structures as important tools for understanding how systems evolve under changing conditions. The findings suggest that asymptotic methods are especially useful when direct solutions are difficult to obtain, since they allow researchers to describe approximate behavior in regimes where exact expressions are unavailable.

The paper also considers the relevance of nonlinear dynamics in modelling oscillation, wave interaction, thermal processes, and mechanical systems. It argues that asymptotic analysis provides an effective bridge between abstract theory and practical prediction by reducing complexity while preserving essential dynamical features. The study concludes that asymptotic methods remain indispensable in physical modelling because they clarify the structural behavior of nonlinear systems and support the interpretation of long-term phenomena.

Key words: asymptotic analysis, nonlinear dynamical systems, physical modelling, stability, perturbation methods

RECENT METHODS IN ALGEBRAIC NUMBER THEORY: APPLICATIONS TO CRYPTOGRAPHY

Prof. Dr. Priya Deshpande, Dr. Nikhil Raman, Prof. Dr. Anjali R. Mehta

Department of Mathematics, Indian Institute of Science, India

ABSTRACT

This paper examines recent methods in algebraic number theory and their growing applications in cryptography. Algebraic number theory provides the structural foundations for many modern encryption systems, especially those based on arithmetic in finite fields, ideal classes, and elliptic curves. The study explores how theoretical developments in the field support secure computation, key exchange, and public-key cryptographic design.

The paper is grounded in a conceptual review of modern algebraic methods and their cryptographic uses. It discusses number fields, ring structures, factorization properties, and arithmetic invariants as mathematical tools that contribute to encoding and security mechanisms. The findings indicate that algebraic number theory offers both depth and flexibility for cryptographic innovation, particularly in contexts where computational hardness is essential for security.

The study also highlights the importance of algebraic structures in resisting attack and maintaining efficiency in digital communication. It argues that advances in number-theoretic research continue to influence cryptographic practice by improving the balance between theoretical robustness and computational feasibility. The paper concludes that algebraic number theory remains a crucial domain for contemporary cryptography, linking abstract mathematics with practical demands in information security.

Key words: algebraic number theory, cryptography, number fields, public-key systems, mathematical security

ADVANCES IN MACHINE LEARNING APPROACHES FOR MATHEMATICAL OPTIMIZATION

Dr. Suresh Chandrasekhar

Faculty of Mathematical Sciences, University of Madras, India

ABSTRACT

This study investigates advances in machine learning approaches for mathematical optimization, emphasizing the growing interaction between data-driven methods and classical optimization theory. Mathematical optimization plays a central role in decision-making, resource allocation, engineering design, and scientific computation. The paper explores how machine learning contributes to faster, more adaptive, and more scalable optimization strategies in complex problem settings.

The research is based on a review of recent literature in optimization and machine learning. It examines how supervised learning, reinforcement learning, and neural approximation methods can support the solution of optimization problems that are difficult to handle with traditional algorithms alone. The findings suggest that machine learning methods are particularly useful in environments with high dimensionality, uncertainty, or dynamic constraints. They can assist in estimating objective functions, guiding search processes, and improving computational efficiency.

The paper also considers the limitations of these methods, including issues of interpretability, generalization, and dependence on training data. It argues that the most effective approaches are those that combine mathematical rigor with adaptive learning capacity. The study concludes that machine learning is reshaping mathematical optimization by expanding the range of solvable problems while creating new possibilities for hybrid computational methods.

Key words: machine learning, mathematical optimization, computational methods, decision systems, adaptive algorithms

MODELING SPATIOTEMPORAL PHENOMENA WITH PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN ENVIRONMENTAL SCIENCES

Prof. Dr. Avinash Kumar, Dr. Sneha Patil, Assis. Prof. Dr. Kartik Sharma, Dr. Deepak Joshi

Faculty of Mathematical and Environmental Sciences, University of Pune, India

ABSTRACT

This paper examines the use of partial differential equations for modelling spatiotemporal phenomena in environmental sciences. Environmental systems often involve processes that vary across both space and time, such as pollutant dispersion, heat transfer, groundwater movement, and ecological diffusion. The study explores how partial differential equations provide a powerful framework for representing these dynamic and interconnected processes.

The research is based on a conceptual review of mathematical modelling approaches in environmental science. It discusses the role of diffusion equations, transport models, reaction-diffusion systems, and boundary-driven formulations in describing real-world phenomena. The findings suggest that partial differential equations are especially valuable because they allow researchers to capture gradual change, interaction patterns, and the influence of spatial heterogeneity. They also support simulation and prediction in complex environmental settings.

The paper further argues that the effectiveness of these models depends on suitable parameter selection, boundary conditions, and numerical approximation. It highlights the importance of combining mathematical analysis with environmental interpretation so that the models remain both scientifically meaningful and computationally usable. The study concludes that partial differential equations are indispensable tools in environmental sciences, providing a structured way to study change, risk, and system response across space and time.

Key words: partial differential equations, spatiotemporal phenomena, environmental sciences, mathematical modelling, diffusion processes

STABILITY AND SPECTRAL ANALYSIS OF NONLINEAR OPERATORS IN FUNCTION SPACES

Dr. Aisha Al-Harthy, Assis. Prof. Dr. Ahmed Salim

Faculty of Science, Sultan Qaboos University, Oman

ABSTRACT

This study explores the stability and spectral analysis of nonlinear operators in function spaces, with emphasis on the mathematical principles that govern operator behavior under perturbation. Nonlinear operators appear in many areas of analysis and applied mathematics, particularly in differential equations, functional equations, and dynamical systems. The paper examines how spectral tools can be used to understand stability, compactness, and long-term behavior in infinite-dimensional settings.

The research is based on theoretical operator theory and functional analysis literature. It discusses the relationship between spectra, fixed points, continuity properties, and stability conditions in Banach and Hilbert spaces. The findings suggest that spectral analysis remains a powerful method for identifying structural features of nonlinear operators, especially when direct solution methods are unavailable. It also shows that stability depends on the interaction between operator geometry and the topology of the underlying function space.

The study further argues that nonlinear operator theory is essential for understanding complex mathematical systems and for supporting applications in differential equations and approximation theory. It concludes that spectral and stability methods provide a rigorous foundation for analyzing nonlinear transformations, allowing mathematicians to classify behavior and predict qualitative outcomes in abstract function spaces.

Key words: nonlinear operators, spectral analysis, functional spaces, stability theory, operator equations

FUZZY LOGIC SYSTEMS AND THEIR APPLICATION IN UNCERTAIN REAL-WORLD DATA MODELLING

Assoc. Prof. Dr. Waleed Al-Lamki, Dr. Sara Al-Rawahi

Faculty of Computing and Mathematical Sciences, Sultan Qaboos University, Oman

ABSTRACT

This study investigates fuzzy logic systems and their applications in modelling uncertain real-world data. Many practical problems involve ambiguity, incomplete information, or vague boundaries that cannot be handled effectively through classical binary logic. The paper explores how fuzzy logic offers a flexible mathematical framework for representing uncertainty and supporting reasoning in complex environments.

The research is based on a review of fuzzy set theory, rule-based systems, and intelligent modelling literature. It examines membership functions, linguistic variables, inference mechanisms, and defuzzification methods as central components of fuzzy logic systems. The findings suggest that fuzzy logic is especially useful when real-world data are imprecise, noisy, or context dependent. It provides a structured way to model human-like reasoning and to support decision processes in uncertain settings.

The paper also discusses applications in control systems, pattern recognition, forecasting, and data interpretation. It argues that fuzzy logic remains relevant because it combines mathematical structure with interpretive flexibility, making it suitable for diverse scientific and technical fields. The study concludes that fuzzy logic systems are valuable tools for uncertainty modelling, particularly when conventional approaches are too rigid to reflect the complexity of practical data.

Key words: fuzzy logic, uncertainty modelling, rule-based systems, data interpretation, intelligent systems

SYMMETRY ANALYSIS IN SOLVING COMPLEX SYSTEMS OF NONLINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS

Dr. Saud Al-Busaidi, Assis. Prof. Dr. Maha Al-Kharusi

Faculty of Science, University of Nizwa, Oman

ABSTRACT

This paper examines symmetry analysis as a method for solving complex systems of nonlinear differential equations. Symmetry-based approaches have long been recognized as powerful tools in mathematical analysis because they can reduce the complexity of differential systems and reveal invariant structures that are not immediately visible in standard formulations. The study focuses on how symmetry methods support solution generation, equation reduction, and qualitative understanding of nonlinear systems.

The research is based on a theoretical review of symmetry methods in differential equations. It discusses Lie symmetries, invariant transformations, conservation properties, and reduction techniques as essential concepts in the analysis of nonlinear systems. The findings suggest that symmetry analysis can simplify highly complex equations by identifying structural patterns and transforming them into more tractable forms. This makes the approach especially valuable in mathematical physics and applied modelling.

The paper also highlights the broader value of symmetry methods in uncovering hidden relationships between variables and in organizing solution spaces more efficiently. It argues that these techniques provide not only computational advantages but also conceptual insight into the nature of nonlinear dynamics. The study concludes that symmetry analysis remains one of the most effective tools for addressing complex differential systems, linking algebraic structure with analytic solution methods.

Key words: symmetry analysis, nonlinear differential equations, Lie symmetries, equation reduction, mathematical physics

INNOVATIVE STRATEGIES IN THE SEISMIC DESIGN OF URBAN INFRASTRUCTURE IN YEREVAN

Prof. Dr. Arman Hakobyan, Assis. Prof. Dr. Lilit Grigoryan

Faculty of Civil Engineering, Yerevan State University of Architecture and Construction,
Armenia

ABSTRACT

This study explores innovative strategies in the seismic design of urban infrastructure in Yerevan, where earthquake risk remains a major concern for the safety and resilience of the built environment. As the city continues to grow and modernize, transportation corridors, public buildings, utility systems, and residential districts must be designed with stronger seismic awareness. The paper examines how engineering innovation can support safer and more adaptable urban infrastructure in a region exposed to significant tectonic activity.

The research is based on a review of seismic engineering literature, urban infrastructure planning studies, and resilience-based design approaches. It focuses on the integration of structural flexibility, material performance, reinforcement strategies, and system-level planning as essential components of earthquake-resistant development. The findings suggest that seismic design should not be limited to individual buildings, but should also address the interdependence of roads, bridges, lifelines, and public facilities. This broader perspective is important for maintaining urban functionality after seismic events.

The study also highlights the need to adapt modern design principles to local construction practices and institutional conditions. It argues that effective seismic infrastructure in Yerevan depends on combining technical innovation with planning coordination, regulatory support, and long-term maintenance thinking. The paper concludes that resilient urban development requires a shift from reactive repair toward proactive design, where safety and adaptability are built into the city's infrastructure from the outset. Such an approach can strengthen both disaster preparedness and sustainable urban growth.

Key words: seismic design, urban infrastructure, Yerevan, earthquake resilience, structural engineering

DEVELOPMENT OF ECO-FRIENDLY CONCRETE COMPOSITES WITH LOCALLY SOURCED MATERIALS

**Prof. Dr. Arman Hakobyan, Dr. Ani Babayan, Prof. Dr. Gevorg Arakelyan, Assis. Prof.
Dr. Sargis Hunanyan**

Faculty of Civil Engineering, National University of Architecture and Construction of
Armenia, Armenia

ABSTRACT

This study investigates the development of eco-friendly concrete composites using locally sourced materials, with a focus on improving sustainability in construction while maintaining structural reliability. The growing demand for environmentally responsible building materials has encouraged research into alternative mixtures that reduce dependence on conventional cement and imported components. The paper examines how local raw materials, industrial by-products, and natural additives can be incorporated into concrete composites suitable for contemporary construction needs.

The research is grounded in sustainable materials literature and concrete technology studies. It highlights the potential of locally available aggregates, supplementary cementitious materials, and natural fibers to improve durability, reduce environmental impact, and lower production costs. The analysis suggests that eco-friendly concrete can contribute to more sustainable construction by decreasing carbon intensity while supporting regional material economies. It also emphasizes the importance of compatibility between material properties, climate conditions, and practical construction requirements.

The study further discusses the technical challenges associated with achieving consistent strength, workability, and long-term durability in alternative concrete systems. It argues that successful eco-friendly composite development depends on careful proportioning, testing, and adaptation to local industrial capacity. The paper concludes that locally sourced materials offer a promising pathway toward greener construction practices, particularly when sustainability goals are integrated with performance standards and regional resource planning. Such an approach can support more responsible infrastructure development in both urban and rural settings.

Key words: eco-friendly concrete, locally sourced materials, sustainable construction, concrete composites, green building

INTELLIGENT FLOOD MANAGEMENT SYSTEMS FOR URBAN CENTERS IN LAHORE

Prof. Dr. Ahmad Ali, Assis. Prof. Dr. Maryam Raza, Muhammad Ayub

Faculty of Civil and Environmental Engineering, University of Engineering and Technology,
Lahore, Pakistan

ABSTRACT

This paper examines intelligent flood management systems for urban centers in Lahore, where rapid urban growth, drainage congestion, and changing rainfall patterns have intensified flood vulnerability. As a major metropolitan area with dense development and complex infrastructure networks, Lahore requires more adaptive and data-informed flood management strategies. The study explores how intelligent systems can improve early warning, drainage coordination, and urban response capacity.

The research draws on urban hydrology, disaster management, and smart infrastructure literature. It focuses on the use of real-time monitoring, sensor-based data collection, predictive modeling, and integrated control systems in reducing flood risk. The findings suggest that intelligent flood management can strengthen urban resilience by improving the speed and accuracy of response measures. It also highlights the importance of linking technological systems with municipal planning, maintenance practices, and community awareness.

The study argues that flood management in Lahore should move beyond conventional drainage solutions and toward a more integrated urban resilience model. This includes better coordination between land use planning, infrastructure design, and emergency response. The paper concludes that intelligent systems can play an important role in protecting urban populations and supporting sustainable city management. Their success, however, depends on institutional readiness, policy support, and the ability to maintain reliable technical infrastructure.

Key words: flood management, intelligent systems, Lahore, urban resilience, disaster planning

ADVANCED OPTIMIZATION OF WIND ENERGY INFRASTRUCTURE IN COASTAL PAKISTAN

Dr. Samina Hassan, Prof. Dr. Tariq Mahmood, Assis. Prof. Dr. Waleed Akhtar

Faculty of Engineering, NED University of Engineering and Technology, Pakistan

ABSTRACT

This study investigates advanced optimization strategies for wind energy infrastructure in coastal Pakistan, where strong wind potential presents a valuable opportunity for renewable energy expansion. Coastal regions of the country are increasingly recognized as suitable locations for wind power development, yet effective deployment requires careful attention to infrastructure design, grid integration, site conditions, and long-term operational efficiency. The paper examines how optimization approaches can improve the performance and reliability of wind energy systems in this context.

The research is based on renewable energy literature and infrastructure planning studies. It focuses on turbine placement, layout efficiency, maintenance planning, and environmental adaptation as key factors in wind energy optimization. The findings suggest that the success of wind projects depends not only on natural wind availability but also on the quality of engineering design and system coordination. The analysis also highlights the importance of balancing technological performance with local climatic, geographic, and economic conditions.

The study argues that coastal wind infrastructure in Pakistan should be developed through strategic planning that integrates energy generation with grid stability and regional development goals. It concludes that advanced optimization can improve output, reduce losses, and increase the long-term viability of wind energy investments. Such a framework is essential for supporting the transition toward cleaner energy systems and reducing dependence on conventional fuel sources.

Key words: wind energy, infrastructure optimization, coastal Pakistan, renewable energy, power systems

APPLICATION OF NANOMATERIALS IN WATER PURIFICATION SYSTEMS FOR KARACHI

Dr. Hina Qureshi, Prof. Dr. Faisal Ahmed, Assis. Prof. Dr. Usman Khan

Faculty of Chemical Engineering, University of Karachi, Pakistan

ABSTRACT

This study examines the application of nanomaterials in water purification systems for Karachi, where water quality concerns, pollution, and limited access to safe water remain significant urban challenges. As a large metropolitan center facing pressure on its water infrastructure, Karachi requires innovative purification approaches that can improve safety, efficiency, and affordability. The paper explores how nanotechnology can contribute to more effective water treatment solutions.

The research draws on environmental engineering and nanotechnology literature. It focuses on the use of nanoscale membranes, adsorbents, catalysts, and filtration materials in removing contaminants and improving water quality. The findings suggest that nanomaterials offer important advantages due to their high surface area, selectivity, and ability to target a wide range of pollutants. The study also notes that such systems may be particularly valuable where conventional treatment technologies are limited by cost or infrastructure gaps.

The paper argues that the successful use of nanomaterials in Karachi depends on careful material selection, system integration, and attention to maintenance and public health safety. It concludes that nanotechnology can provide a promising pathway for urban water purification when applied within a broader framework of sustainable water management. This approach can support healthier urban living conditions and improve resilience in water-stressed environments.

Key words: nanomaterials, water purification, Karachi, environmental engineering, safe water

SUSTAINABLE DESIGN OF EMBANKMENT DAMS UNDER ARID CLIMATE CONDITIONS

Dr. Salim Al-Harthy, Prof. Dr. Fahad Al-Shidhani

Faculty of Civil Engineering, Sultan Qaboos University, Oman

ABSTRACT

This paper investigates the sustainable design of embankment dams under arid climate conditions, where water scarcity, high evaporation, and extreme temperature variations create unique engineering demands. In arid regions, dams must serve both water storage and long-term environmental management functions, making their design especially important for regional sustainability. The study explores how embankment dam systems can be adapted to these conditions through improved material selection, structural stability, and environmental sensitivity.

The research is based on hydraulic engineering and sustainable infrastructure literature. It focuses on seepage control, erosion resistance, thermal performance, and local material use as central aspects of dam design. The findings suggest that sustainable embankment dams should be planned with attention to climate stress, sediment behavior, and maintenance needs. The study also emphasizes that environmental sustainability must be considered alongside structural safety and water management efficiency.

The paper argues that dam design in arid environments should aim to reduce resource waste while maximizing functional durability. It concludes that sustainable embankment systems can support water security and rural development when they are designed to fit local climatic and geological conditions. Such projects require long-term planning, technical adaptation, and institutional commitment to environmental resilience.

Key words: embankment dams, arid climate, sustainable design, water infrastructure, hydraulic engineering

PERFORMANCE EVALUATION OF SMART TRAFFIC MANAGEMENT TECHNOLOGIES IN MUSCAT

Assis. Prof. Dr. Aisha Al-Balushi, Dr. Sami Alkindi
Faculty of Engineering, Sultan Qaboos University, Oman

ABSTRACT

This study evaluates the performance of smart traffic management technologies in Muscat, where traffic congestion, urban growth, and transport efficiency have become important planning concerns. As the capital city expands, effective traffic control is essential for improving mobility, reducing delay, and supporting safer road use. The paper examines how intelligent traffic systems can contribute to more responsive and efficient urban transport management.

The research is informed by intelligent transport systems and urban mobility literature. It focuses on adaptive signal control, traffic monitoring tools, data integration, and real-time decision support as key features of smart traffic management. The findings suggest that these technologies can improve traffic flow and reduce pressure on congested corridors when they are properly coordinated with road network conditions and administrative capacity. The study also highlights the importance of data quality, system maintenance, and inter-agency cooperation.

The paper argues that smart traffic technologies should be understood as part of a broader urban management strategy rather than isolated technical tools. In Muscat, their success depends on alignment with transport planning, public behavior, and long-term infrastructure goals. The study concludes that smart traffic management can support a more efficient and sustainable urban mobility system when it is integrated into citywide development policy.

Key words: smart traffic, traffic management, Muscat, intelligent transport systems, urban mobility

DEVELOPING SOLAR-POWERED MICROGRID SOLUTIONS FOR REMOTE COMMUNITIES IN OMAN

Prof. Dr. Hamood Al-Rawahi, Dr. Nasser Al-Saadi

Faculty of Engineering, Sultan Qaboos University, Oman

ABSTRACT

This study examines the development of solar-powered microgrid solutions for remote communities in Oman, where geographic isolation and limited access to centralized electricity networks create ongoing energy challenges. Solar microgrids offer a practical and sustainable option for improving electricity access in sparsely populated areas while supporting local development and energy independence. The paper explores the technical and planning considerations involved in designing such systems.

The research is based on renewable energy and rural electrification literature. It focuses on solar generation capacity, storage systems, distribution reliability, and community-level demand management as key elements of microgrid design. The findings suggest that solar-powered microgrids can provide stable and flexible energy supply when they are designed to match local needs and environmental conditions. The study also emphasizes the importance of maintenance planning, institutional support, and affordability for long-term sustainability.

The paper argues that remote electrification should not be treated only as an infrastructure issue, but also as a development strategy that improves education, healthcare, communication, and livelihood opportunities. It concludes that solar microgrids offer a strong solution for remote Omani communities when technical design is combined with social planning and policy support. Such systems can strengthen resilience while contributing to a cleaner and more inclusive energy future.

Key words: solar microgrid, remote communities, Oman, renewable energy, rural electrification