İZMİR ISCS
3. ULUSLARARASI FEN ve UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

2 - 4 Ekim 2026

YÜZYÜZE ve ONLINE

www.izmirkongresi.org

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
OCTOBER 2 - 4, 2026
IZMIR

Edited By
PROF. DR. HÜLYA ÇİÇEK

Issued: 20.10.2026
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 51 papers have been presented by Turkish participants and 66 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.izmirkongresi.org Contact: iscsizmir@gmail.com

CONFERENCE ID

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE

OCTOBER 2 - 4, 2026

IZMIR

ORGANIIZATION

ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS

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

PARTICIPATING COUNTRIES

Turkey – Nigeria – Ukraine- Ethiopia- Albania – Iran- Vietnam- Indonesia – Uzbekistan- Malaysia- Hungary- Bangladesh- Bulgaria- Qatar – Tajikistan – Senegal – Guinea - North Macedonia- Serbis – Pakistan – Iraq -Kosovo – Philippines-

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: Prof. Dr. Hülya Çiçek

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Universitesi

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 Universitesi

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 Universitesi

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. Sevra Fırıncıoğulları

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 Universitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Turkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Turkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Turkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Turkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Turkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Turkiye

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 – Turkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Turkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Turkiye

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 – Turkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Turkiye

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 - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Turkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Turkiye

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 – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Turkiye

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 – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizhstan

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 – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye

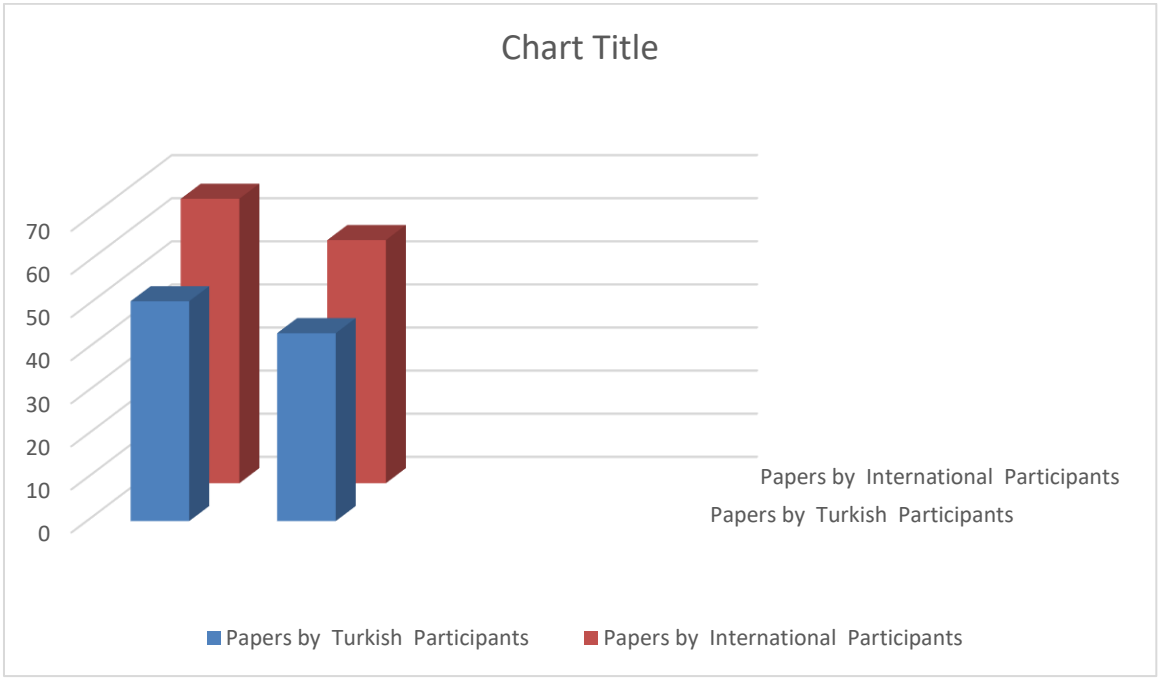
Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	Number of paper	*%*
Papers by Turkish Participants	51	43,59
Papers by International Participants (22 Countries)	66	56,41



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.

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.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
OCTOBER 2 - 4, 2026
IZMIR

NO : **AC- 3I - 2026. 359I– 3862**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi 15/10/2026

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **IZMIR ISCS 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES** kongresi 2-4 Ekim 2026 tarihlerinde İzmir'de 23 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 117 bildirinin 51'i Türkiye'den 66'sı ise farklı 22 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. Naile BİLGİLİ

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES
IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
October 2 - 4, 2026
IZMIR

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 moderator 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 aşılmamasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilmektedir.**
- 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,

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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, YAVUZ KOÇ**	1	BETON YOL KAPLAMALARININ ULAŞIM MÜHENDİSLİĞİ AÇISINDAN KARŞILAŞILAN SORUNLARI: TÜRKİYE VE DÜNYADAKİ ÇALIŞMALAR ÜZERİNE BİR LİTERATÜR TARAMASI	Dr. ONUR ŞAHİN
		2	TÜRKİYE'DE KULLANICI DENEYİMLERİ BAĞLAMINDA (AUS) UYGULAMALARININ KULLANICI FAYDA ALGISI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Dr. ONUR ŞAHİN
		3	LİF TİPİNİN PERLİT DOLGULU HAFİF POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ	Doç. Dr. SERHAT ÇELİKTEN Prof. Dr. MEHMET CANBAZ
		4	POMZA DOLGULU HAFİF POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE KARBON LİF BOYUNUN VE MİKTARININ ETKİSİ	Prof. Dr. MEHMET CANBAZ Doç. Dr. SERHAT ÇELİKTEN
		5	INVESTIGATION OF SELECTED MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF FLAME-RETARDANT WOOD-PLASTIC COMPOSITES	Doç. Dr. İLKAY ATAR Dr. BÜŞRA AVCI Prof. Dr. FATİH MENGELOĞLU
		6	A COMPARATIVE INVESTIGATION OF SELECTED MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE COMPOSITES REINFORCED WITH RED PINE WOOD FLOUR AND RICE HUSK FIBERS	Dr. BÜŞRA AVCI Doç. Dr. İLKAY ATAR Prof. Dr. FATİH MENGELOĞLU
		7	DESIGN-ORIENTED ANALYSIS OF A HIGH STEP-UP QUADRATIC BOOST CONVERTER WITH COUPLED INDUCTOR AND CAPACITOR-LIFT CELLS	Dr. Öğr. Üyesi, YAVUZ KOÇ Dr. Öğr. Üyesi, ERDOĞAN ÖZEL
		8	KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA YAPAY ZEKÂ KULLANIMI: EN SON GELİŞMELERİN İNCELENMESİ	Beyza Nur UZUN Nurbanu ÇEVİK Prof. Dr. Özlem SAĞIROĞLU DEMİRCİ
		9	ALANYA TARİHİ KENT MERKEZİ ÜZERİNE SİSTEMATİK BİR LİTERATÜR TARAMASI: MEVCUT EĞİLİMLER VE BOŞLUKLAR	Nurbanu ÇEVİK Beyza Nur UZUN Prof. Dr. Özlem SAĞIROĞLU DEMİRCİ

No: 1

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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	**Dr. Öğr. Üyesi ERDİNÇ KARAKULLUKÇU**	1	GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLARİNİN (GES) HESAPLAMASINDA KULLANILAN YAZILIMLARIN ETKİSİ	Doç. Dr. Ahmet ŞENPINAR Melek EREL
		2	MODERN VERİ TABANI SİSTEMLERİNDE GÜVENLİK TEHDİTLERİ VE YAPAY ZEKÂ TABANLI ÇÖZÜMLER	Yüksek Lisans Öğrencisi, Fardin Soltanzadehdizaji Asst Prof, Faruk Ayata Asst. Prof, Ebubekir Seyyarer
		3	İKİLİ SINIFLANDIRMADA DENGESİZ VERİ İLE MÜCADELE: 20 VERİ SETİ ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME	Dr. Öğr. Üyesi ERDİNÇ KARAKULLUKÇU
		4	ROBOT ARM MOTION CONTROL WITH AN ENERGY-AWARE REWARD FUNCTION: A REINFORCEMENT LEARNING APPROACH	Harun Reşit KARACA Dr. Öğr. Üyesi Ali Fatih GÜNDÜZ
		5	COEFFICIENT BOUNDS AND GEOMETRIC PROPERTIES OF SĂLĂGEAN WEIGHTED HARMONIC FUNCTIONS	Hasan BAYRAM Sibel YALÇIN
		6	MEMBERSHIP THRESHOLDS AND INTERVAL UNCERTAINTY FOR NEUTROSOPHIC HARMONIC POISSON SERIES	Sibel YALÇIN Hasan BAYRAM
		7	ARDUINO UNO AND ESP8266-BASED IOT-INTEGRATED SMART GREENHOUSE AUTOMATION SYSTEM: AN APPLIED PROTOTYPE WITH PRIORITY LOGIC AND POWER MANAGEMENT	Cemre YILDIZ Hayati MAMUR
		8	ESP32-BASED IoT-ENABLED SMART IRRIGATION SYSTEM WITH PULSE IRRIGATION ALGORITHM	Nami YILMAZ Hayati MAMUR

No: 2

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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. Öğretim Üyesi HAKAN AVAN**	1	PALLIATIVE CARE KNOWLEDGE AMONG MASTER'S STUDENTS IN NURSING	PhDc. Stela Muça PhD. Flora Zyberaj MPS. Enkelejda Ibro PhD. Juljana Xhindoli
		2	DİJİTAL NESİLDEN DİJİTAL HASTAYA: ÇOCUK VE ERGENLERDE DİJİTAL SAĞLIK OKURYAZARLIĞI VE PEDİATRİ HEMŞİRESİNİN ROLÜ	Dr. Öğretim Üyesi HAKAN AVAN Dr. Öğretim Üyesi VEDAT ARGIN
		3	NESNELERİN TIBBİ İNTERNETİ İLE HEMŞİRELİK BAKIMININ DÖNÜŞÜMÜ: FIRSATLAR, GÜÇLÜKLER VE GELECEK PERSPEKTİFİ	Dr. Öğretim Üyesi HAKAN AVAN
		4	ET VE ET ÜRÜNLERİNDE DOĞAL KORUYUCU OLARAK TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN KULLANIMI: ANTİOKSİDAN VE ANTİMİKROBİYAL ETKİNLİK ÜZERİNE BİR DERLEME	Dr. Ali Murat KESEMEN
		5	IN SILICO EVALUATION OF THE PHARMACOKINETIC AND TOXICITY PROFILES OF 1,2,4-TRIAZOLE DERIVATIVES USING SWISSADME AND PROTOX	Dr. Ergün GÜLTEKİN

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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	**Dr. Gültekin Gürçay**	1	ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA FİZİKSEL VE BİLİŞSEL ERGONOMİ GEREKSİNİMLERİNİN KALİTE FONKSİYON YAYILIMI (QFD) İLE ANALİZİ	BUSE AKGÖZ Dr. Öğr. Üyesi MUHAMMET FEHMİ ÇAPANOĞLU
		2	DESIGN AND DEVELOPMENT OF A HYBRID STORM BRAKE FOR PORTAL CRANES	Sıla ATAY Daniil TIMAKHOV Dr. Öğr. Üyesi Haşim Fırat KARASU Dr. Abdurrahman AYDIN Arş. Gör. Okan ÇELİK
		3	FARKLI KAYNAK YÖNTEMLERİ İLE BİRLEŞTİRİLEN GEMİ ÇELİKLERİNDE KAYNAK BÖLGESİNİN MEKANİK VE MİKROYAPISAL İNCELENMESİ	Oğuz Kaan GÜN
		4	AÇMASI KOLAY, KAYNAK YAPIŞMA SORUNU OLMAYAN PE KÜVET İLE UYUMLU ÜST FOLYO GELİŞTİRİLMESİ	İbrahim AYMAK Alperen KONUK Beyza EFE ÇİĞDEM Eda ARKON
		5	KOLAY YIRTILABİLİR, BARİYERLİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR POLİETİLEN FİLM GELİŞTİRİLMESİ	Alperen KONUK İbrahim AYMAK Beyza EFE ÇİĞDEM Eda ARKON
		6		

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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	**Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR**	1	SİVAS İLİNİN FOTOVOLTAİK ÜRETİM POTANSİYELİ: GÜNEŞ IŞINIMI, ÖZGÜL ÜRETİM VE İKLİMSEL ETKİLERİN ANALİZİ	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ
		2	SİVAS İLİ RÜZGÂR KAYNAĞININ WEİBULL DAĞILIMI VE YÜKSEKLİK EKSTRAPOLASYONU İLE ANALİZİ	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ
		3	BİYOGAZDAKİ HİDROJEN SÜLFÜR VE SİLOKSANLARIN GİDERİMİNDE METAL OKSİT TABANLI NANOKOMPOZİTLER: PERFORMANS, SEÇİCİLİK VE REJENERASYONA YÖNELİK DENEYSEL ARAŞTIRMA TASARIMI	Tülin ALDIRMAZ EMANET Prof. Dr. Mustafa CAN
		4	PHOCATALYTIC REMOVAL OF METHYLENE BLUE DYE BY USING METAL OXIDE SUPPORTED BIMETALLIC MOF	Dr., NERGİZ KANMAZ Doç. Dr., ÖZLEM TUNA Prof. Dr., PELİN DEMİRÇİVİ
		5	METHYLENE BLUE REMOVAL PERFORMANCES USING MESOPOROUS SILICA	Dr., NERGİZ KANMAZ Doç. Dr., ŞEYDA KARADİREK Prof. Dr., PELİN DEMİRÇİVİ

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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	**Doç. Dr. Meltem AVAN**	1	FARKLI GÜNEŞ IŞIĞINA MARUZ KALMA KOŞULLARINDA TAZE ÇAY YAPRAKLARINDA (Camellia sinensis L.) KALİTE-MİNERAL İLİŞKİLERİ	Prof. Dr. Saim Zeki BOSTAN
		2	TÜRK FINDIK ÇEŞİTLERİNDE (TOMBUL VE PALAZ) FİZİKSEL GEOMETRİ İLE BEYAZLAMA KALİTESİ PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ	Prof. Dr. Saim Zeki BOSTAN
		3	NARLARDA (*Punica granatum* L.) GÖRÜLEN BAŞLICA HASTALIKLAR VE FİZYOLOJİK SORUNLAR	Doç. Dr. Meltem AVAN
		4	NAR (*Punica granatum* L.) HASTALIKLARI MÜCADELESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİM STRATEJİLERİ	Doç. Dr. Meltem AVAN
		5	KSİLOFAJ BÖCEKLERİN DOĞADAKİ İŞLEVLERİ VE EKOLOJİK ÖNEMİ	Dr. Mahmut İSLAMOĞLU
		6	ÜLKEMİZDE BULUNAN KSİLOFAJ BÖCEK TÜRLERİ, BİYOLOJİLERİ, ÖNEMLERİ VE YAYGINLIKLARI	Dr. Mahmut İSLAMOĞLU
		7	NANOPARTICLES IN THE DROUGHT-STRESSED PLANT: FROM ROS CONTROL TO IMPROVED STRESS PERFORMANCE	Öğr. Gör., ASLI GÜLEÇ Doç. Dr., Nurcan YAVUZ
		8	HAYVAN BESLEMEDE YENİ ORTAYA ÇIKAN MİKOTOKSİNLER VE ÇOKLU KONTAMİNASYON RİSKLERİ	Doç. Dr. Cemal BUDAĞ Merve HATİPOĞLU
		9	EVCİL KEDİ VE KÖPEK BESLEMESİNDE YENİ NESİL YAKLAŞIMLAR	Doç. Dr. Cemal BUDAĞ Şebnem İlayda KAPUSUZ

No: 5

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr., Saliha ÜNVER**	1	EVALUATIONS REGARDING THE ABOLITION OF SOME LEGAL PROVISIONS PROTECTING NATURAL ECOSYSTEMS THROUGH NEW LEGAL REGULATIONS	Assoc. Prof. Dr., Oğuz KURDOĞLU Assoc. Prof. Dr., Saliha ÜNVER
		2	AN ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF THE SNOW-BASED SKIDDING ON THE SEEDLINGS IN PURE SPRUCE FOREST	Assoc. Prof. Dr., Saliha ÜNVER Assoc. Prof. Dr., Oğuz KURDOĞLU
		3	ORMAN OKULLARINDA MANTAR TEMELLİ DOĞA EĞİTİMİ: ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİNDE EKOLOJİK FARKINDALIK, BİLİMSEL SÜREÇ BECERİLERİ VE DOĞAYLA BAĞ KURMA ÜZERİNE BİR DERLEME	Yasin ÜNAL Mevlüt ZENBİLCİ Halis Mümin YILMAZ
		4	ANADOLU PARSININ (PANTHERA PARDUS TULLIANA) EKOLOJİSİNDE BİTKİ ÖRTÜSÜNÜN ROLÜ: HABİTAT YAPISI, AV ERİŞİLEBİLİRLİĞİ VE OLASI TROFİK ETKİLER	Yasin ÜNAL Mevlüt ZENBİLCİ Halis Mümin YILMAZ
		5	FARKLI YAŞLARDAKİ KIZILÇAM TOHUM BAHÇELERİNDE TOHUM VE KOZALAK ÖZELLİKLERİ	AYŞENUR KAÇAR Prof. Dr. MURAT ALAN
		6	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI YABANCI OT FLORASINDAKİ DEĞİŞİMLER VE GELECEKTEKİ YABANCI OT YÖNETİMİNE YANSIMALARI	Arş. Gör., Seren DOĞAR KAVAN Doç. Dr.,Ramazan GÜRBÜZ
		7	HASSAS TARIMDA ALANA ÖZGÜ YABANCI OT KONTROLÜ: TEKNOLOJİLER VE UYGULAMALAR	Arş. Gör., Seren DOĞAR KAVAN Doç. Dr.,Ramazan GÜRBÜZ
		8	SU STRESİNİN YABANCI OTLARIN BİYOLOJİSİ, BÜYÜMESİ, ÜREMESİ VE MÜCADELESİNE ETKİLERİ	Arş. Gör., Seren DOĞAR KAVAN Doç. Dr.,Ramazan GÜRBÜZ
		9	ENTEGRE YABANCI OT YÖNETİMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK	Arş. Gör., Seren DOĞAR KAVAN Doç. Dr.,Ramazan GÜRBÜZ
		10	ANAEROBİK FUNGUSLARIN LİKENAZ ENZİM ÜRETİMİ, KAREKTERİZASYONU VE BİYOTEKNOLOJİK KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ, ARAŞTIRILMASI	ÖZGÜR KIRMIZITAŞ Dr. Öğr. Üyesi BÜLENT KAR

No: 4

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assis Prof. Dr. Ana Stojanov**	1	AGRICULTURAL SUSTAINABILITY AND CLIMATE RESILIENCE IN SMALLHOLDER FARMING SYSTEMS	Prof. Dr. Ahmet Yilmaz Dr. Fatma Ozturk Assis Prof. Dr. Mehmet Kaya
		2	INTEGRATED PEST MANAGEMENT STRATEGIES FOR SUSTAINABLE CROP PRODUCTION IN TROPICAL REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Siti Nurhaliza Prof. Dr. Bambang Sutrisno Dr. Rina Wijaya Assis Prof. Dr. Agus Santoso
		3	SUSTAINABLE LIVESTOCK PRODUCTION AND ANIMAL NUTRITION STRATEGIES FOR IMPROVED FOOD SECURITY	Dr. Abdoulaye Ndiaye Prof. Dr. Aminata Sow Assoc. Prof. Dr. Ousmane Fall
		4	CLIMATE-SMART AGRICULTURE PRACTICES FOR ADAPTATION AND MITIGATION IN WEST AFRICAN FARMING SYSTEMS	Prof. Dr. Moussa Diop Dr. Aissatou Ba Assoc. Prof. Dr. Ibrahima Sarr Dr. Fatoumata Diallo Assis Prof. Dr. Cheikh Tidiane
		5	POST-HARVEST LOSS REDUCTION AND FOOD SECURITY ENHANCEMENT THROUGH IMPROVED STORAGE TECHNOLOGIES	Dr. Petar Markovski Prof. Dr. Ljupco Georgiev Assis Prof. Dr. Ana Stojanov
		6	AGROFORESTRY SYSTEMS AND BIODIVERSITY CONSERVATION IN MEDITERRANEAN CLIMATE ZONES	Assis Prof. Dr. Stefan Dimitrov Prof. Dr. Katerina Blazevska Dr. Nikola Jovanovic Assoc. Prof. Dr. Vesna Todorovska
		7	PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES FOR OPTIMIZING FERTILIZER APPLICATION AND YIELD PREDICTION	Prof. Dr. Goran Stojanovski Assoc. Prof. Dr. Milena Petrovska Dr. Aleksandar Nikolov

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Luljeta Pajaziti**	1	MOLECULAR MECHANISMS OF DROUGHT TOLERANCE IN WEST AFRICAN CROP VARIETIES	Prof. Dr. Aminata Diop Dr. Cheikh Tidiane Fall Assoc. Prof. Dr. Moussa Sarr
		2	GENETIC DIVERSITY AND CONSERVATION STRATEGIES FOR SENEGALESE MANGROVE ECOSYSTEMS	Assist. Prof. Dr. Fatou Diallo Prof. Dr. Ibrahima Ndiaye Dr. Aissatou Ba Assoc. Prof. Dr. Mamadou Diatta
		3	BIOTECHNOLOGICAL APPROACHES TO ENHANCE NITROGEN USE EFFICIENCY IN PAKISTANI WHEAT CULTIVARS	Dr. Muhammad Aslam Khan Prof. Dr. Ayesha Rehman Assoc. Prof. Dr. Tariq Mahmood Dr. Sanaullah Baloch
		4	MOLECULAR MARKER-ASSISTED SELECTION FOR DISEASE RESISTANCE IN PAKISTANI RICE VARIETIES	Prof. Dr. Khalid Hussain Assist. Prof. Dr. Nargis Shaheen Dr. Fazal Ur Rehman Assoc. Prof. Dr. Zubaida Ahmed Dr. Imran Ali
		5	GENOMIC CHARACTERIZATION OF BRUCELLOSIS PATHOGENS IN IRAQI LIVESTOCK POPULATIONS	Prof. Dr. Ahmed Al-Rubaye Dr. Zainab Al-Khafaji Assoc. Prof. Dr. Mustafa Al-Jubouri
		6	ECOLOGICAL IMPACTS OF TIGRIS-EUPHRATES WETLAND RESTORATION ON BIRD MIGRATION PATTERNS	Assist. Prof. Dr. Layla Hassan Prof. Dr. Omar Al-Samarrai Dr. Amira Kadhim Assoc. Prof. Dr. Salam Ibrahim
		7	MOLECULAR PHYLOGENY AND CONSERVATION GENETICS OF IRAQI FRESHWATER FISH SPECIES	Dr. Huda Al-Mosawi Prof. Dr. Jasim Al-Basri Assist. Prof. Dr. Nadia Al-Rawi Dr. Karim Al-Zubaidi Assoc. Prof. Dr. Thuraya Al-Hakeem
		8	BIODIVERSITY ASSESSMENT OF ENDEMIC PLANT SPECIES IN KOSOVO'S ACCursed MOUNTAINS	Prof. Dr. Arberesha Mustafa Dr. Besnik Krasniqi Assoc. Prof. Dr. Luljeta Pajaziti

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Liza Fernandez**	1	REVITALIZATION OF TRADITIONAL BATIK ART THROUGH CONTEMPORARY DESIGN PRACTICES IN INDONESIA	Prof. Dr. Agus Santoso Rina Prameswari
		2	CULTURAL SYMBOLISM IN BALINESE PAINTING AND ITS TRANSFORMATION IN MODERN VISUAL ARTS	Dr. Made Wirawan Ketut Sari Ayu Lestari
		3	CONTEMPORARY FILIPINO STREET ART AS A MEDIUM OF POLITICAL EXPRESSION AND SOCIAL COMMENTARY	Assoc. Prof. Dr. Miguel Reyes Carlos Dela Cruz
		4	PRESERVATION OF INDIGENOUS ART FORMS IN PHILIPPINE RURAL COMMUNITIES THROUGH DIGITAL ARCHIVING	Dr. Liza Fernandez Ana Santos Roberto Villanueva
		5	THE ROLE OF FILIPINO CINEMA IN SHAPING NATIONAL IDENTITY IN THE 21ST CENTURY	Prof. Dr. Juan Bautista Elena Garcia Marco Lopez
		6	VISUAL NARRATIVES IN FILIPINO CONTEMPORARY PHOTOGRAPHY AND URBAN TRANSFORMATION	Dr. Teresa Aquino Paolo Mendoza
		7	TRADITIONAL WEAVING TECHNIQUES AND THEIR INTEGRATION INTO MODERN FILIPINO FASHION DESIGN	Assoc. Prof. Dr. Regina Salazar Isabel Cruz Daniel Torres Maria Velasco
		8	AFRICAN MASK ART AND ITS INFLUENCE ON CONTEMPORARY SENEGALESE SCULPTURE	Prof. Dr. Mamadou Diop Aissatou Ndiaye
		9	THE ROLE OF MUSIC AND PERFORMANCE ART IN SENEGAL'S CULTURAL IDENTITY FORMATION	Dr. Ousmane Fall Cheikh Gueye Fatou Sow

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Iryna Petrenko**	1	SUSTAINABLE HOUSING SOLUTIONS FOR RAPID URBANIZATION IN LAGOS METROPOLITAN AREA	Funmilayo Okafor Emeka Nwosu Prof. Dr. Chidi Okonkwo Blessing Adeyemi Dr. Tunde Bakare
		2	STRUCTURAL INTEGRITY ASSESSMENT OF HIGH-RISE BUILDINGS IN NIGERIAN SEISMIC ZONES	Dr. Amina Yusuf Ibrahim Musa
		3	EARTHQUAKE-RESISTANT DESIGN METHODOLOGIES FOR UKRAINIAN URBAN INFRASTRUCTURE	Prof. Dr. Oleksandr Shevchenko Natalia Kovalenko Andriy Melnyk
		4	ENERGY-EFFICIENT BUILDING MATERIALS FOR POST-CONFLICT RECONSTRUCTION IN UKRAINE	Assoc. Prof. Dr. Iryna Petrenko Viktor Bondarenko
		5	CLIMATE-ADAPTIVE ARCHITECTURE FOR ETHIOPIAN HIGHLAND COMMUNITIES	Dr. Abebe Tadesse Hanna Gebre Prof. Dr. Solomon Bekele
		6	INNOVATIVE CONSTRUCTION TECHNIQUES FOR AFFORDABLE HOUSING IN ADDIS ABABA	Assis. Prof. Dr. Tigist Haile Dawit Alemu Meron Tsegaye
		7	WATER MANAGEMENT SYSTEMS IN SUSTAINABLE URBAN PLANNING FOR ETHIOPIAN CITIES	Prof. Dr. Yohannes Kebede Almaz Desta Lemlem Tesfaye Samuel Fikre

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Dr. Ali Asghar Sadeghi Zadeh**	1	SEROPREVALENCE OF BRUCELLA ABORTUS AND BRUCELLA MELITENSIS INFECTION IN DAIRY CATTLE AND SMALL RUMINANTS AND ASSOCIATED RISK FACTORS IN RURAL REGIONS OF IRAN	Assoc. Prof. Dr. Ali Asghar Sadeghi Zadeh
		3	PREVALENCE AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF ANTIMICROBIAL-RESISTANT ESCHERICHIA COLI ISOLATED FROM BROILER CHICKENS IN COMMERCIAL POULTRY FARMS OF NORTHERN IRAN	Prof. Dr. Mohammad Reza Tavakoli Nejad Hossein Rahimi Nasab Assist. Prof. Dr. Fatemeh Karimi Tabar
		4	GENETIC DIVERSITY AND PHYLOGENETIC ANALYSIS OF AFRICAN SWINE FEVER VIRUS STRAINS CIRCULATING IN SMALLHOLDER PIG FARMS OF THE RED RIVER DELTA, VIETNAM	Dr. Nguyen Van Thanh Tran Thi Minh Hoa Prof. Dr. Le Quang Phan Pham Quoc Huy Vu Thi Lan Anh
		5	EFFECTS OF HERBAL FEED ADDITIVES ON GROWTH PERFORMANCE, INTESTINAL MORPHOLOGY AND IMMUNE RESPONSE IN WEANED PIGLETS UNDER TROPICAL FARMING CONDITIONS	Assoc. Prof. Dr. Do Van Duc Hoang Minh Tuan
		6	DETECTION OF HIGHLY PATHOGENIC AVIAN INFLUENZA H5N1 VIRUS IN BACKYARD POULTRY AND LIVE BIRD MARKETS IN WEST JAVA, INDONESIA: A ONE HEALTH SURVEILLANCE APPROACH	Prof. Dr. Bambang Wahyu Santoso Dr. Agus Setiawan Prakoso Rini Kusumawati Dewi Anggraini Putri Muhammad Fajar Hidayat
		7	CLINICAL, HAEMATOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ALTERATIONS IN BALI CATTLE NATURALLY INFECTED WITH TRYPANOSOMA EVANSI IN EAST NUSA TENGGARA PROVINCE	Gusti Ngurah Kade Wiratama Assist. Prof. Dr. Ni Made Suwitri Yohanes Kristianto Lado Ketut Budiasa
		8	ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF MORINGA OLEIFERA LEAF EXTRACT AGAINST STAPHYLOCOCCUS AUREUS ISOLATED FROM SUBCLINICAL MASTITIS CASES IN DAIRY GOATS	Dr. Ratna Sari Wijayanti Hendra Gunawan
		9	PREVALENCE OF GASTROINTESTINAL NEMATODES AND EMERGING ANTHELMINTIC RESISTANCE IN SMALL RUMINANT FARMS ACROSS PENINSULAR MALAYSIA	Prof. Dr. Noraini Abdul Hamid Mohd Azlan Ismail Dr. Lim Wei Chen Nur Syafiqah Rahman Kavitha Subramaniam

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Retno Wulandari**	1	ASSESSING THE LONG-TERM IMPACTS OF OPEN-PIT COPPER MINING ON FOREST COVER, SOIL QUALITY AND VEGETATION DIVERSITY IN THE ZAGROS OAK FORESTS OF WESTERN IRAN USING MULTI-TEMPORAL SATELLITE IMAGERY	Prof. Dr. Mohammad Reza Karimi Ali Asghar Rahmani Dr. Fatemeh Hosseinzadeh
		2	A GIS-BASED MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING FRAMEWORK FOR PRIORITIZING THE ECOLOGICAL RESTORATION OF ABANDONED IRON ORE MINES WITHIN THE HYRCANIAN FORESTS OF NORTHERN IRAN	Assoc. Prof. Dr. Hamid Reza Mousavi
		3	EVALUATING THE EFFECTS OF BAUXITE MINING ON DEFORESTATION, WATERSHED HYDROLOGY AND LIVELIHOODS OF INDIGENOUS COMMUNITIES IN THE CENTRAL HIGHLANDS OF VIETNAM	Nguyen Van Thanh Dr. Tran Thi Mai Huong Le Quang Minh Assist. Prof. Dr. Pham Duc Anh Hoang Thi Lan
		4	HEAVY METAL ACCUMULATION IN NATIVE TREE SPECIES AND THEIR POTENTIAL FOR PHYTOREMEDIATION OF COAL MINE SPOIL DUMPS IN QUANG NINH PROVINCE, VIETNAM	Prof. Dr. Vu Minh Tuan Do Thi Thu Trang
		5	SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF TROPICAL RAINFOREST LOSS DRIVEN BY NICKEL MINING EXPANSION IN SULAWESI, INDONESIA: IMPLICATIONS FOR BIODIVERSITY CONSERVATION AND SUSTAINABLE LAND-USE POLICY	Dr. Budi Santoso Siti Rahmawati Assoc. Prof. Dr. Agus Wijaya Dewi Lestari
		6	POST-MINING LAND RECLAMATION SUCCESS IN EAST KALIMANTAN COAL CONCESSIONS: A COMPARATIVE ASSESSMENT OF SOIL PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, VEGETATION RECOVERY AND CARBON SEQUESTRATION POTENTIAL	Prof. Dr. Hendra Kurniawan Rina Puspitasari Dr. Eko Prasetyo Ahmad Fauzi Assist. Prof. Dr. Nur Aini Hidayati Yusuf Maulana
		7	THE ROLE OF ARTISANAL AND SMALL-SCALE GOLD MINING IN MERCURY CONTAMINATION OF PEAT SWAMP FORESTS AND RIVER ECOSYSTEMS IN CENTRAL KALIMANTAN, INDONESIA	Assoc. Prof. Dr. Retno Wulandari
		8	APPLICATION OF UAV-BASED LIDAR AND MACHINE LEARNING FOR MONITORING FOREST CANOPY REGENERATION ON REHABILITATED TIN MINING LANDS IN PERAK, MALAYSIA	Dr. Ahmad Faizal Rahman Nurul Izzah Abdullah

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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	**Assis. Prof. Dr. Jasur Normatov**	1	A HYBRID DEEP LEARNING FRAMEWORK FOR REAL-TIME ANOMALY DETECTION IN INDUSTRIAL IOT NETWORKS USING TEMPORAL CONVOLUTIONAL AND GRAPH NEURAL ARCHITECTURES	Prof. Dr. Shukhrat Karimov Dilnoza Rakhimova Assoc. Prof. Dr. Bekzod Tursunov
		2	A LIGHTWEIGHT POST-QUANTUM CRYPTOGRAPHIC PROTOCOL FOR SECURE FIRMWARE UPDATES IN RESOURCE-CONSTRAINED EMBEDDED SYSTEMS: DESIGN, FPGA IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE EVALUATION	Prof. Dr. Gábor Kovács Dr. Eszter Nagy Balázs Szabó Assoc. Prof. Dr. Zsolt Horváth Réka Tóth
		3	ENERGY-EFFICIENT TASK SCHEDULING IN HETEROGENEOUS EDGE-CLOUD ENVIRONMENTS BASED ON MULTI-OBJECTIVE REINFORCEMENT LEARNING FOR SMART AGRICULTURE APPLICATIONS IN CENTRAL ASIA	Assis. Prof. Dr. Jasur Normatov
		5	FORMAL VERIFICATION OF SAFETY-CRITICAL AUTOMOTIVE SOFTWARE COMPONENTS USING MODEL CHECKING AND STATIC ANALYSIS TECHNIQUES IN AUTOSAR-COMPLIANT ARCHITECTURES	Dr. Péter Varga Anna Kiss
		6	A TRANSFORMER-BASED APPROACH FOR BANGLA HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION WITH DATA AUGMENTATION AND TRANSFER LEARNING ON LOW-RESOURCE DATASETS	Nusrat Jahan Tanvir Ahmed Chowdhury Assis. Prof. Dr. Farhana Sultana Md. Mahmudul Hasan Sadia Afrin
		7	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A LOW-COST IOT-BASED FLOOD EARLY WARNING SYSTEM USING LORAWAN SENSOR NETWORKS AND MACHINE LEARNING PREDICTION MODELS FOR RIVERINE REGIONS OF BANGLADESH	Assoc. Prof. Dr. Kamrul Hassan Dr. Shirin Akter Arifur Rahman Mehedi Hasan Rony
		8	PERFORMANCE ANALYSIS OF BLOCKCHAIN-BASED DECENTRALIZED IDENTITY MANAGEMENT SYSTEMS FOR SECURE DIGITAL HEALTH RECORDS IN DEVELOPING COUNTRIES	Dr. Abu Saleh Mohammad Noman
		9	OPTIMIZING 5G NETWORK SLICING THROUGH SOFTWARE-DEFINED NETWORKING AND NETWORK FUNCTION VIRTUALIZATION FOR ULTRA-RELIABLE LOW-LATENCY COMMUNICATION IN SMART CITY INFRASTRUCTURES	Prof. Dr. Ahmed Al-Kuwari Fatima Al-Mannai Assis. Prof. Dr. Khalid Al-Marri Noora Al-Sulaiti Dr. Mohammed Al-Hajri

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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. Nikolay Stoyanov**	1	KINETIC MODELING AND PROCESS OPTIMIZATION OF CATALYTIC HYDRODESULFURIZATION OF HEAVY GAS OIL OVER NIMO/AL2O3 CATALYSTS IN A TRICKLE-BED REACTOR	Prof. Dr. Ivan Georgiev Maria Dimitrova Assoc. Prof. Dr. Stoyan Kolev Elena Todorova
		2	RECOVERY OF RARE EARTH ELEMENTS FROM INDUSTRIAL FLY ASH USING ORGANIC ACID LEACHING AND SOLVENT EXTRACTION: EXPERIMENTAL STUDY AND TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT	Dr. Nikolay Stoyanov
		3	DEVELOPMENT OF LOW-COST ADSORBENTS FROM COTTON STALK WASTE FOR THE REMOVAL OF HEAVY METAL IONS FROM MINING WASTEWATER: ISOTHERM, KINETIC AND THERMODYNAMIC ANALYSIS	Prof. Dr. Firuz Rahimov Nigina Saidova Assist. Prof. Dr. Jamshed Nazarov Zarina Sharipova Bakhtiyor Qodirov
		4	THERMOCHEMICAL CONVERSION OF LOCAL COAL AND AGRICULTURAL RESIDUES INTO SYNTHESIS GAS THROUGH CO-GASIFICATION IN A FLUIDIZED-BED REACTOR UNDER VARYING STEAM-TO-FUEL RATIOS	Dr. Sherali Davlatov Madina Karimova
		5	SUSTAINABLE PRODUCTION OF BIODIESEL FROM WASTE COOKING OIL USING EGGSHELL-DERIVED CALCIUM OXIDE HETEROGENEOUS CATALYST: PARAMETRIC OPTIMIZATION BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY	Nusrat Jahan Md. Tanvir Hossain Prof. Dr. Shakil Ahmed
		6	TREATMENT OF TEXTILE DYEING EFFLUENT BY COMBINED ELECTROCOAGULATION AND ADVANCED OXIDATION PROCESSES: PERFORMANCE EVALUATION, ENERGY CONSUMPTION AND SLUDGE CHARACTERIZATION	Dr. Sharmin Sultana Mahbubur Rahman Prof. Dr. Kamrul Hasan
		7	MEMBRANE-BASED SEPARATION OF CARBON DIOXIDE FROM NATURAL GAS USING MIXED MATRIX MEMBRANES INCORPORATED WITH METAL–ORGANIC FRAMEWORKS: SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND GAS PERMEATION PERFORMANCE	Anika Tabassum
		8	VALORIZATION OF PALM OIL MILL EFFLUENT INTO BIOHYDROGEN AND BIOMETHANE THROUGH TWO-STAGE ANAEROBIC DIGESTION: PROCESS STABILITY, MICROBIAL COMMUNITY AND ENERGY RECOVERY ANALYSIS	Prof. Dr. Nurul Aisyah binti Ahmad Tan Wei Ming Assist. Prof. Dr. Muhammad Hafiz bin Rahman Siti Hajar Ismail Lim Chee Keong
		9	COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS SIMULATION OF HEAT AND MASS TRANSFER IN A PACKED-BED ABSORPTION COLUMN FOR POST-COMBUSTION CARBON CAPTURE USING AQUEOUS AMINE BLENDS	Assoc. Prof. Dr. Ravindran Subramaniam Nor Azlina binti Yusof

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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	**Assoc. Prof. Dr. Hakan YÜKSEL Doç. Dr. Önder Deniz**	1	SMART CITY APPROACH AS AN INTERSECTION OF MODELS: GLOBAL AND LOCAL CASES	Emirhan KÜREK Prof. Dr. Sanem BERKÜN
		2	DİŞ HEKİMLİĞİ MESLEKİ KİMLİK ÖLÇEĞİ: GEÇERLİLİK VE GÜVENİRLİRLİK ÇALIŞMASI	Doç. Dr. Muhammet Ali ÇELEBİ Yeşim TOPÇUBAŞI
		3	PROFESYONEL YETERLİLİK ALGILARININ MESLEKİ KİMLİK OLUŞUMUNA ETKİSİ	Doç. Dr. Muhammet Ali ÇELEBİ Yeşim TOPÇUBAŞI
		4	UNDERSTANDING THE INDIVIDUAL'S CAPACITY TO COMPREHEND DIGITAL DECISION-MAKING MECHANISMS IN THE AGE OF ALGORITHMIC LITERACY	Doç. Dr. Muhammet Kemal Karaman Doç. Dr. Önder Deniz
		5	DIGITAL VISIBILITY SUPPORTED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR CITIES WITH LIMITED PROMOTIONAL BUDGETS	Doç. Dr. Önder Deniz Doç. Dr. Muhammet Kemal Karaman
		6	SPOR MEDYASINDA HAKEM TARTIŞMALARI ÜZERİNE BİR ANALİZ: FENERBAHÇE-GALATASARAY DERBİ MAÇI ÖRNEĞİ	Prof. Dr. Mustafa İNCE Fuad ZAMANOV
		7	YOUTUBER'LARIN ÜRETTİKLERİ VİDEO İÇERİKLERİNİN KULLANICILAR NEZDİNDEKİ ETKİLEŞİMLERİ ÜZERİNE BİR ANALİZ	Prof. Dr. Mustafa İNCE İrem TATAROĞLU
		8	THE ROLE AND IMPACT OF COMEDY PRODUCTIONS IN TURKISH CINEMA	Assoc. Prof. Dr. Hakan YÜKSEL
		9	THE TRANSFORMATION OF RADIO BROADCASTING IN THE CONTEXT OF NEW COMMUNICATION TECHNOLOGIES	Assoc. Prof. Dr. Hakan YÜKSEL

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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. Ayhan Özer**	1	DIGITAL NOSTALGIA: THE RECONSTRUCTION OF GENDER IN THE CONTEXT OF THE TRADWIFE MOVEMENT	Doç. Dr. M. Özer ÖZKANTAR Yüksek Lisans Öğrencisi Esra BEYAZ
		2	TÜRKİYE'DE KÜLTÜR SANAT EKONOMİ POLİTİĞİNİN SAHNE SANATLARINDAKİ ESTETİK VE ETİK EROZYONA ETKİSİ	Doç. Uluç Esen
		3	BINDING AND ENCIRCLEMENT IN LOUISE BOURGEOIS'S MAMAN AND GULAY DOGAN'S WORKS	Gulay DOGAN
		4	AN EXAMINATION OF FICTIONAL NARRATIVE AND TRANSFORMATION IN POST-1960 ART THROUGH JOSEPH BEUYS	Gulay DOGAN
		5	PROBLEMS IN TURKISH ART TEXTS AND THEIR IMPACTS ON ART	Prof. Dr. Ayhan Özer
		6	AN AI-ASSISTED INTERACTIVE READING MODEL FOR READING AND UNDERSTANDING PHILOSOPHICAL TEXTS	Prof. Dr. Ayhan Özer
		7	ZEUGMA AT MEYDANI'NDA BULUNAN TAUROKTONİ KABARTMASI BAĞLAMINDA ROMA ORDUSU VE MİTHRAS KÜLTÜ	Öğr. Gör. Selçuk Oğuz

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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	**Prof. Dr. Sercan ÖZKELEŞ**	1	CAZ FLÜTÜNDE STİLİSTİK BİR İNCELEME: HUBERT LAWS'UN "MOMENT'S NOTICE" ESERİNDEKİ DOĞAÇLAMASININ ANALİZİ	Bilim Uzmanı Yener BAYARSLAN Prof. Dr. Sercan ÖZKELEŞ
		2	HUBERT LAWS'UN CAZ FLÜTÜNDEKİ DOĞAÇLAMA ANLAYIŞI: "AIREGIN" YORUMU	Bilim Uzmanı Yener BAYARSLAN Prof. Dr. Sercan ÖZKELEŞ
		3	CAZ FLÜTÜNDE DOĞAÇLAMA: "OPUS DE FUNK" ÖRNEĞİ	Bilim Uzmanı Yener BAYARSLAN Prof. Dr. Sercan ÖZKELEŞ
		4	FREDERİC CHOPİN'İN NOCTURNELERİNDE KULLANDIĞI EŞLİK STİLİ: OP:9 NO:2 ÖRNEĞİ	Bilim Uzmanı Mervenur YAĞLI Prof. Dr. Sercan ÖZKELEŞ
		5	FREDERİC CHOPİN'İN OP 72 NO:1 NOCTURNESİNİN ARMONİK VE EŞLİK YAPISININ İNCELENMESİ	Bilim Uzmanı Mervenur YAĞLI Prof. Dr. Sercan ÖZKELEŞ
		6	ROMANTİK DÖNEM BESTECİLERİNDEN FREDERİC CHOPİN'İN POUR PİANO NO:21 NOCTURNESİNİN ARMONİK VE EŞLİK YAPISININ ANALİZİ	Bilim Uzmanı Mervenur YAĞLI Prof. Dr. Sercan ÖZKELEŞ
		7	ŞAN İÇİN PİYANO EŞLİKLİ ESERLERDE ÇALGI TEKNİKLERİ VE ARMONİK UNSURLAR: DERE ESERİ ÖRNEĞİ	Bilim Uzmanı Zeynep EKİZ Prof. Dr. Sercan ÖZKELEŞ
		8	ŞAN İÇİN PİYANO EŞLİKLİ ESERLERDE MÜZİKAL UNSURLAR: DEĞİRMENCİNİN ÇİÇEKLERİ ESERİ ÖRNEĞİ	Bilim Uzmanı Zeynep EKİZ Prof. Dr. Sercan ÖZKELEŞ
		9	ŞAN İÇİN PİYANO EŞLİKLİ "GÜZEL MAYIS" ESERİNDE TEKNİK VE ARMONİK UNSURLARIN İNCELENMESİ	Bilim Uzmanı Zeynep EKİZ Prof. Dr. Sercan ÖZKELEŞ

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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	**Prof. Dr. Yusuf Bayraktutan**	1	TURKISH SOCIAL SECURITY SYSTEM AT CONTEXT OF SUSTAINABILITY	Prof. Dr. Yusuf Bayraktutan Aysun Çaylı
		2	SAVUNMA HARCAMALARINDAKİ ARTIŞIN KAMU MALİYESİ ÜZERİNE YARATTIĞI ETKİLER	Doç. Dr. Özgür Mustafa ÖMÜR
		3	TÜRKİYE'DE TURİZM BÖLGELERİNDE YEREL GELİR KAYNAĞI OLARAK KONAKLAMA VERGİSİ	Doç. Dr. Özgür Mustafa ÖMÜR
		4	NEOLIBERAL İDEOLOJININ KENTSEL İZDÜŞÜMÜ: GURGAON ÖRNEĞI	Dr. Öğr. Üyesi. Cihan PALANCI
		5	İNKILABIN GENÇ BEKÇİLERİ: 1926 SONRASI TÜRKİYE'DE GENÇLİK, DEĞİŞİM VE ATATÜRK SEVGİSİNİN İNŞASI	Öğr. Gör., Feryat BULUT
		6	BİR ASRIN ÇOK SESLİLİĞİ: TÜRK MEDENİ KANUNU'NUN 100. YILINDA TOPLUMSAL DEĞİŞİM	Öğr. Gör., Feryat BULUT
		7	YABANCI UNSURLU ERGİN KILINMA (KAZAİ RÜŞT) TALEPLERİNE UYGULANACAK HUKUKUN TAYİNİ	Doç. Dr. Cemil GÜNER

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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	**Öğr. Gör. Dr., Eda Öztürk Belet**	1	İRAN SİNEMASINDA AFGAN MÜLTECİ TEMSİLİ VE ÖTEKİLİK İNŞASI	Araştırma Görevlisi Meryem DİLEK
		2	ERKEN DÖNEM TÜRKİYE CUMHURİYETİ'NDE SİYASAL VE SOSYAL POLİTİKA OLARAK SOLİDARİZM	Araştırma Görevlisi Meryem DİLEK
		3	AFETLERİN ÇOCUK PSİKOLOJİSİ ÜZERİNE ETKİLERİ VE PSİKOSYAL DESTEK YAKLAŞIMLARI	Yüksek Lisans Öğrencisi, Necmiye DEMİR Dr.Öğr.Üyesi, Gamze YÜKSEL
		4	KORUNMA BEKLENTİSİ VE HANE İÇİ RİSK: ATEŞLİ SİLAH SAHİPLİĞİNDE ALGI, ERİŞİM VE GÖZLENEN SONUÇLAR	Dr. Öğr. Üyesi, SADULLAH SEYİDOĞLU
		5	DİJİTALLEŞME ÇAĞINDA AİLEYİ YENİDEN DÜŞÜNMEK: SOSYAL AĞLARIN AİLE İLİŞKİLERİ VE AİLE KİMLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: İRAN ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN	Dr. Öğr. Üyesi, Raheb MOHAMMADI GHANBARLOU
		6	BLACK SWAN FİLMİNDE MÜKEMMELİYETÇİLİK: ŞEFKAT ODAKLI TERAPİ ÇERÇEVESİNDEN BİR VAKA ANALİZİ	Öğr. Gör. Dr., Eda Öztürk Belet
		7	SHAPING THE STATUS QUO IN TURKEY: HOW SOCIAL STATUS, POLITICAL ORIENTATION, AND NATIONAL IDENTIFICATION DRIVE SYSTEM JUSTIFICATION	Assistant Professor, NURİ AKDOĞAN Assistant Professor, KENAN ALPARSLAN

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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	**Prof. Dr. Mehmet ÖZMENLİ**	1	SAFAHAT'IN HİKÂYE TEKNİĞİ AÇISINDAN YAPI UNSURLARININ İNCELENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fetih YANARDAĞ Doktora Öğrencisi Uğur TOMBUL
		2	YASİN MORTAŞ'IN POETİKASI	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fetih YANARDAĞ Doktora Öğrencisi Uğur TOMBUL
		3	THE NORMATIVE POWER OF MYTH: POETIC FICTION, CIVIL TRUTH, AND THE FORMATION OF ORDER IN GRAVINA AND VICO	Dr. Adnan AKAN
		4	ARMİNİUS VÁMBÉRY'NİN ESERLERİNDE TÜRKMENLER VE YAŞADIKLARI COĞRAFYA	Prof. Dr. Mehmet ÖZMENLİ Öğr. Gör. Gökhan HAMZAÇEBİ
		5	TÜRK HALK OYUNLARINDA KÜLTÜR ENDÜSTRİSİ VE TOPLUM TUZAKLARI	Öğr. Gör. Gökhan HAMZAÇEBİ Prof. Dr. Mehmet ÖZMENLİ
		6	İSLÂM HUKUKUNDA "YASAĞIN SİRAYETİ" İLKESİ: RİVAYET MERKEZLİ BİR İNCELEME	Doç. Dr. Serkan ÇELİKAN
		7	NEBEVÎ DİLDE DÜNYA TASAVVURU: "DÜNYADA BİR GARİB VEYA YOLCU GİBİ OL" HADİSİNİN TAHLİLİ	Doç. Dr. Serkan ÇELİKAN
		8	EŞ'ARÎ KELAM GELENEĞİNDE ŞER PROBLEMİ: İBN FÛREK'İN KÖTÜLÜK ANLAYIŞI, KELAMİ METODOLOJİSİ VE ELEŞTİREL TAHLİLİ	Doç. Dr. Yaşar ÜNAL

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES
IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

2 Ekim / October 2, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Prof. Dr. Süha YILMAZ**	1	2018 VE 2024 SOSYAL BİLGİLER DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMLARININ ÖĞRENME ALANLARI VE DEĞERLER BAĞLAMINDA KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Öğr. Gör. Dr. MURAT YÜKSEL
		2	AFET SONRASI DAYANIŞMANIN SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETİMİNDE SORGULAMAYA DAYALI TASARIMI: C3 ÇERÇEVESİ VE TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA ÖNERİSİ	Öğr. Gör. Dr. MURAT YÜKSEL
		3	AN INVESTIGATION OF THE CONTENT KNOWLEDGE OF 8 TH-GRADE MİDDLE SCHOOL STUDENTS REGARDING AREA MEASUREMENT	Uzman Berna ÖZDÜVENCİ YAVUZ Prof. Dr. Süha YILMAZ İrem KAYHAN
		4	İŞİTME ENGELLİ ve AKADEMİK BAŞARISI YÜKSEK 7. SINIF ÖĞRENCİLERİNİN MODELLEME PROBLEMİ ÜZERİNDEKİ PERFORMANSLARININ RAMS ÖLÇÜTLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRILMASI	Gülseren KAFADAR Prof. Dr. Süha YILMAZ
		5	AN EVALUATION OF MATHEMATICAL MODELLING PROBLEMS GENERATED BY CHATGPT-5 ACCORDING TO BORROMEO FERRI'S CRITERIA FOR MODELLING PROBLEMS	Bil. Uzm. Kübra SEVİMLİ Prof. Dr. Süha YILMAZ
		6	KURAMSAL ÇERÇEVE VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ: OKUL ÖNCESİ EĞİTİMDE ÇAĞDAŞ YAKLAŞIMLARIN KAPSAYICILIK BOYUTU	Yüksek Lisans Öğrencisi Utku DUMAN Prof. Dr. MEHMET KANAK Dr. Öğr. Üyesi ASUMAN BİLBAY
		7	2026 TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ OKUL ÖNCESİ EĞİTİM PROGRAMI'NDA FARKLILAŞTIRILMIŞ ÖĞRETİM VE KAPSAYICILIK: PLAN ŞABLONLARINDAN ÖĞRENME ORTAMLARINA ZENGİNLEŞTİRME VE DESTEKLEME YÖNERGELERİNİN DOKÜMAN İNCELEMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Utku DUMAN Prof. Dr. MEHMET KANAK Dr. Öğr. Üyesi ASUMAN BİLBAY
		8	ALTERNATIF SPORLARIN EVRIMI: PORTEKIZ'DE SÖRFÜN ARTAN POPÜLERITESI	Arş. Gör. Sacide TÜFEKÇİ Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ İsmet SEVAL
		9	YENİ REKREASYON EĞİLİMLERİ: GECE DOĞA ETKİNLİKLERİ VE DEĞİŞEN REKREASYON DENEYİMLERİ	Arş. Gör. Sacide TÜFEKÇİ Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ İsmet SEVAL

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Andriy Melnyk**	1	URBAN MIGRATION PATTERNS AND SOCIAL INTEGRATION CHALLENGES IN LAGOS METROPOLITAN AREA	Prof. Dr. Chukwuma Okonkwo Ngozi Adeyemi Dr. Ibrahim Musa Emeka Nwankwo
		2	GENDER ROLES AND WOMEN'S EMPOWERMENT IN RURAL NIGERIAN COMMUNITIES	Dr. Amina Yusuf Blessing Okafor
		3	POST-SOVIET SOCIAL TRANSFORMATION AND IDENTITY RECONSTRUCTION IN UKRAINIAN SOCIETY	Assoc. Prof. Dr. Olena Kovalenko Viktor Petrenko Iryna Shevchenko
		4	YOUTH POLITICAL ENGAGEMENT AND CIVIC PARTICIPATION IN CONTEMPORARY UKRAINE	Prof. Dr. Andriy Melnyk
		5	ETHNIC DIVERSITY AND SOCIAL COHESION IN ADDIS ABABA URBAN NEIGHBORHOODS	Dr. Abebe Tadesse Kebede Wolde Hanna Gebre Dawit Alemu
		6	RURAL-URBAN DIVIDE AND ACCESS TO EDUCATION IN ETHIOPIAN HIGHLAND REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Mekonnen Haile Tigist Assefa
		7	RELIGIOUS INSTITUTIONS AND COMMUNITY DEVELOPMENT IN ETHIOPIAN ORTHODOX CONTEXTS	Prof. Dr. Solomon Bekele Lemlem Teshome Yonas Kebede Sara Mengistu
		8	POST-COMMUNIST FAMILY STRUCTURES AND INTERGENERATIONAL RELATIONS IN ALBANIA	Dr. Arben Dervishi Elira Hoxha Klevis Pasha Besnik Hoxha Elvira Kola Arta Dushi

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Ilir Basha**	1	URBAN MIGRATION, INFORMAL SETTLEMENTS AND THE RECONFIGURATION OF KINSHIP NETWORKS AMONG YOUTH IN LAGOS METROPOLIS: A SOCIOLOGICAL ANALYSIS OF SOCIAL CAPITAL AND SURVIVAL STRATEGIES	Prof. Dr. Oluwaseun Adebayo Chiamaka Nwosu Dr. Ibrahim Musa Danjuma
		2	RELIGION, ETHNIC IDENTITY AND COMMUNAL CONFLICT IN NORTH-CENTRAL NIGERIA: A QUALITATIVE STUDY OF INTERGROUP TRUST, PEACEBUILDING INITIATIVES AND THE ROLE OF TRADITIONAL INSTITUTIONS	Assoc. Prof. Dr. Ngozi Okafor
		3	INTERNAL DISPLACEMENT, SOCIAL COHESION AND HOST COMMUNITY INTEGRATION IN WESTERN UKRAINE: SOCIOLOGICAL PERSPECTIVES ON SOLIDARITY, TENSION AND EVERYDAY ADAPTATION DURING WARTIME	Prof. Dr. Olena Kovalenko Andriy Shevchuk Assist. Prof. Dr. Iryna Tkachenko Dmytro Bondarenko Nataliia Melnyk
		4	TRANSFORMATION OF FAMILY ROLES AND GENDER RELATIONS IN UKRAINIAN HOUSEHOLDS UNDER MILITARY MOBILIZATION: AN EMPIRICAL STUDY OF WOMEN'S LABOUR PARTICIPATION, CARE WORK AND DECISION-MAKING	Dr. Oksana Hrytsenko Serhii Lytvynenko
		5	RURAL-URBAN MIGRATION, CHANGING LIVELIHOODS AND THE EROSION OF TRADITIONAL SOCIAL SUPPORT SYSTEMS IN THE AMHARA REGION OF ETHIOPIA: A MIXED-METHODS SOCIOLOGICAL INVESTIGATION	Prof. Dr. Tesfaye Alemu Meron Getachew Abebe Bekele Assoc. Prof. Dr. Selamawit Tadesse Yohannes Gebremedhin Hirut Wolde
		6	YOUTH UNEMPLOYMENT, SOCIAL EXCLUSION AND ASPIRATIONS FOR INTERNATIONAL MIGRATION IN ADDIS ABABA: EXPLORING THE INTERPLAY OF EDUCATION, FAMILY EXPECTATIONS AND PEER NETWORKS	Dawit Mekonnen Assist. Prof. Dr. Tigist Haile Mulugeta Assefa Dr. Bethlehem Girma
		7	CUSTOMARY CONFLICT RESOLUTION MECHANISMS AND STATE JUSTICE INSTITUTIONS IN SOUTHERN ETHIOPIA: A SOCIOLOGICAL ASSESSMENT OF LEGITIMACY, COMMUNITY TRUST AND LEGAL PLURALISM	Solomon Tekle
		8	EMIGRATION, REMITTANCES AND THE SOCIAL TRANSFORMATION OF RURAL COMMUNITIES IN NORTHERN ALBANIA: CHANGING GENDER NORMS, INTERGENERATIONAL RELATIONS AND LOCAL DEVELOPMENT	Prof. Dr. Arben Hoxha Elira Shehu Dr. Blerina Kola Gentian Dervishi Erjona Marku
		9	DIGITAL MEDIA USE, POLITICAL PARTICIPATION AND CIVIC ENGAGEMENT AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN POST-SOCIALIST ALBANIA: A SURVEY-BASED ANALYSIS OF TRUST IN INSTITUTIONS AND DEMOCRATIC VALUES	Assoc. Prof. Dr. Ilir Basha Anila Prifti

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Hamid Reza Ahmadi**	1	THE IMPACT OF INTERNATIONAL SANCTIONS ON INFLATION DYNAMICS AND HOUSEHOLD WELFARE IN IRAN: EVIDENCE FROM A TIME-VARYING PARAMETER VAR MODEL (1990–2024)	Prof. Dr. Mohammad Reza Karimi Fatemeh Hosseini Dr. Ali Akbar Rezaei
		2	OIL REVENUE VOLATILITY, FISCAL POLICY RESPONSES AND SUSTAINABLE ECONOMIC GROWTH IN RESOURCE-DEPENDENT ECONOMIES: AN EMPIRICAL ANALYSIS OF IRAN	Assoc. Prof. Dr. Hamid Reza Ahmadi
		3	DIGITAL TRANSFORMATION, FINANCIAL INCLUSION AND THE PRODUCTIVITY OF SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES IN VIETNAM: A PANEL DATA APPROACH	Nguyen Van Minh Dr. Tran Thi Thu Ha Le Hoang Nam Assist. Prof. Dr. Pham Quoc Bao Vo Thi Mai Anh
		4	FOREIGN DIRECT INVESTMENT, TRADE OPENNESS AND REGIONAL INCOME INEQUALITY IN VIETNAM: EVIDENCE FROM PROVINCIAL-LEVEL DATA BETWEEN 2005 AND 2023	Prof. Dr. Dang Quang Huy Bui Thi Lan Phuong
		5	THE ROLE OF ISLAMIC FINANCE AND THE HALAL INDUSTRY IN PROMOTING INCLUSIVE ECONOMIC GROWTH IN INDONESIA: A STRUCTURAL EQUATION MODELLING APPROACH	Assoc. Prof. Dr. Ahmad Fauzi Rahman Siti Nurhaliza Putri Dr. Budi Santoso Dewi Kartika Sari Rizky Pratama Prof. Dr. Hendra Wijaya
		6	FUEL SUBSIDY REFORM, ENERGY PRICES AND RURAL HOUSEHOLD CONSUMPTION PATTERNS IN INDONESIA: A COMPUTABLE GENERAL EQUILIBRIUM ANALYSIS	Agus Setiawan Dr. Rina Wulandari Muhammad Iqbal Hakim Assist. Prof. Dr. Yulia Kusumawati
		7	MONETARY POLICY TRANSMISSION MECHANISMS AND THE EFFECTIVENESS OF INTEREST RATE CHANNELS IN AN EMERGING MARKET ECONOMY: THE CASE OF INDONESIA	Assoc. Prof. Dr. Hamid Reza Ahmadi
		8		

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Malika Yusupova**	1	DIGITAL TRANSFORMATION AND ITS IMPACT ON THE COMPETITIVENESS OF SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES IN UZBEKISTAN: EVIDENCE FROM THE MANUFACTURING AND SERVICE SECTORS	Prof. Dr. Dilshod Rakhimov Nodira Karimova Assis. Prof. Dr. Bekzod Tursunov
		2	THE ROLE OF FAMILY BUSINESS GOVERNANCE IN SUCCESSION PLANNING AND LONG-TERM ORGANIZATIONAL SUSTAINABILITY IN CENTRAL ASIAN TRANSITION ECONOMIES	Assoc. Prof. Dr. Malika Yusupova
		3	EMPLOYEE ENGAGEMENT, TRANSFORMATIONAL LEADERSHIP AND INNOVATIVE WORK BEHAVIOR IN HUNGARIAN MULTINATIONAL SUBSIDIARIES: A STRUCTURAL EQUATION MODELING APPROACH	Prof. Dr. Zoltán Kovács Eszter Nagy Dr. Péter Szabó Katalin Tóth Gábor Horváth
		4	ESG DISCLOSURE PRACTICES AND FIRM FINANCIAL PERFORMANCE: A PANEL DATA ANALYSIS OF LISTED COMPANIES ON THE BUDAPEST STOCK EXCHANGE	Assoc. Prof. Dr. Anna Varga Balázs Molnár
		5	THE INFLUENCE OF MOBILE FINANCIAL SERVICES ON THE GROWTH AND FINANCIAL INCLUSION OF RURAL MICRO-ENTERPRISES IN BANGLADESH	Prof. Dr. Mohammad Rafiqul Islam Nusrat Jahan Assis. Prof. Dr. Tanvir Ahmed Farhana Akter Md. Shahidul Haque Dr. Sadia Rahman
		6	GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PRACTICES AND EXPORT PERFORMANCE IN THE READY-MADE GARMENT INDUSTRY OF BANGLADESH: THE MEDIATING ROLE OF ENVIRONMENTAL COMPLIANCE	Tasnim Chowdhury Dr. Mahmudul Karim Rumana Sultana
		7	CONSUMER TRUST, PERCEIVED RISK AND ONLINE PURCHASE INTENTION: AN EMPIRICAL STUDY OF E-COMMERCE PLATFORMS AMONG YOUNG CONSUMERS IN DHAKA	Arif Hossain
		8	WORKFORCE NATIONALIZATION POLICIES AND HUMAN RESOURCE MANAGEMENT STRATEGIES IN THE PRIVATE SECTOR OF QATAR: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES UNDER NATIONAL VISION 2030	Prof. Dr. Khalid Al-Kuwari Aisha Al-Thani Assis. Prof. Dr. Hamad Al-Marri Fatima Al-Mannai Noora Al-Sulaiti
		9	ENTREPRENEURIAL ECOSYSTEMS AND STARTUP SURVIVAL IN THE GULF REGION: THE ROLE OF GOVERNMENT INCUBATORS, VENTURE CAPITAL AND INSTITUTIONAL SUPPORT IN QATAR	Dr. Ahmed Al-Emadi Maryam Al-Naimi Assoc. Prof. Dr. Saad Al-Hajri

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Rebecca Atukunda**	1	THE RECONCILIATION OF FAITH AND REASON IN CONTEMPORARY SPANISH SCHOLASTIC THOUGHT	Prof. Dr. Miguel Ángel Sánchez García Dr. Elena Rodríguez Fernández Assoc. Prof. Dr. Javier Martín López Prof. Dr. Sunita Deshmukh
		2	DIVINE ACTION AND NATURAL CAUSALITY IN MODERN IBERIAN THEOLOGY	Dr. Carmen Vidal Ruiz Prof. Dr. Antonio Fernández Delgado
		3	INTERRELIGIOUS DIALOGUE BETWEEN CHRISTIANITY AND HINDUISM IN CONTEMPORARY INDIAN THEOLOGY	Prof. Dr. Rajesh Kumar Sharma Dr. Priya Nair Assoc. Prof. Dr. Anil Verma Dr. Meera Patel
		4	VEDANTIC PHILOSOPHY AND CHRISTIAN MYSTICISM A COMPARATIVE STUDY	Dr. Arjun Reddy
		5	AFRICAN INDIGENOUS RELIGIONS AND CHRISTIAN THEOLOGY IN UGANDA SYNTHESIS AND TENSION	Prof. Dr. John Bosco Okello Assoc. Prof. Dr. Sarah Namukasa Dr. Peter Odongo Assis Prof. Dr. Grace Akello Dr. Michael Ochen Prof. Dr. David Lubowa
		6	THE PROBLEM OF SUFFERING IN AFRICAN CHRISTIAN THEOLOGY A UGANDAN PERSPECTIVE	Dr. Rebecca Atukunda Prof. Dr. Samuel Musoke Assoc. Prof. Dr. Josephine Nabukenya
		7	POLITICAL THEOLOGY AND POST COLONIAL IDENTITY IN EAST AFRICAN THOUGHT	Dr. Annet Chemengich Prof. Dr. Timothy Wambalaba Dr. Catherine Akello Assis Prof. Dr. Francis Okurutu
		8	THE RECEPTION OF THOMISTIC PHILOSOPHY IN ALBANIAN THEOLOGICAL EDUCATION	Prof. Dr. Gjergj Meta Dr. Elena Dushi Assoc. Prof. Dr. Nikollë Pjetri Dr. Mirjana Kola
		9	ORTHODOX THEOLOGY AND WESTERN PHILOSOPHICAL TRADITIONS IN CONTEMPORARY ALBANIA	Dr. Artan Hoxha Prof. Dr. Teodor Laço Assis Prof. Dr. Dorina Çela Dr. Klodian Rroshi Assoc. Prof. Dr. Andi Naçi

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Aissata Ba**	1	EDUCATIONAL POLICY REFORMS IN SENEGAL: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF CURRICULUM DEVELOPMENT AND TEACHER TRAINING INITIATIVES	Prof. Dr. Aminata Diop Dr. Moussa Sarr Assis Prof. Dr. Fatou Ndiaye
		2	HIGHER EDUCATION ACCESS AND EQUITY IN SENEGALESE UNIVERSITIES: BARRIERS AND STRATEGIC INTERVENTIONS FOR RURAL STUDENTS Assoc. Prof. Dr. Cheikh Fall	Dr. Aissata Ba Prof. Dr. Ibrahima Diouf Dr. Khady Sow
		3	CURRICULUM INNOVATION IN PAKISTANI TECHNICAL EDUCATION: INTEGRATING DIGITAL LITERACY AND VOCATIONAL SKILLS FOR EMPLOYABILITY	Dr. Muhammad Hassan Assoc. Prof. Dr. Ayesha Khan Prof. Dr. Tariq Mahmood Dr. Sana Ahmed Assis Prof. Dr. Bilal Qureshi
		4	GENDER DISPARITIES IN PAKISTAN'S PRIMARY EDUCATION SYSTEM: CULTURAL BARRIERS AND POLICY SOLUTIONS FOR GIRLS' ENROLLMENT	Prof. Dr. Farzana Ali Dr. Imran Hussain Assoc. Prof. Dr. Nadia Shah
		5	EDUCATIONAL TECHNOLOGY ADOPTION IN IRAQI SCHOOLS POST-CONFLICT: INFRASTRUCTURE CHALLENGES AND DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGIES	Dr. Ahmed Al-Rubaye Assis Prof. Dr. Zainab Hassan Prof. Dr. Omar Al-Maliki Dr. Layla Ibrahim
		6	TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT PROGRAMS IN IRAQ: EFFECTIVENESS EVALUATION AND COMPETENCY-BASED TRAINING MODELS	Dr. Huda Al-Khafaji Prof. Dr. Samira Nadhim Dr. Karim Al-Zubaidi Assis Prof. Dr. Rana Abdullah
		7	INCLUSIVE EDUCATION FRAMEWORKS FOR DISPLACED CHILDREN IN IRAQ: PSYCHOSOCIAL SUPPORT AND ADAPTIVE LEARNING ENVIRONMENTS	Dr. Yasser Al-Tikriti Prof. Dr. Amira Al-Samarrai Assoc. Prof. Dr. Firas Al-Dulaimi Dr. Noor Al-Mosawi

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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. Fatou Ndiaye**	1	COMMUNITY-BASED MENTAL HEALTH INTERVENTIONS IN POST-DISASTER SETTINGS: EVIDENCE FROM RURAL INDONESIA	Prof. Dr. Siti Rahmawati Dr. Ahmad Fauzi Assoc. Prof. Dr. Dewi Lestari
		2	DIGITAL LITERACY AND SOCIAL INCLUSION AMONG ELDERLY POPULATIONS IN URBAN JAVA	Asst. Prof. Dr. Budi Santoso Prof. Dr. Rina Kusumawati Dr. Hendra Wijaya Siti Nurhaliza
		3	SOCIAL WORK PRACTICE IN FAMILY REUNIFICATION AFTER MIGRATION: CASE STUDIES FROM MOLDOVA	Prof. Dr. Elena Ciobanu Dr. Ion Popescu Assoc. Prof. Dr. Maria Rusu
		4	YOUTH UNEMPLOYMENT AND COMMUNITY EMPOWERMENT STRATEGIES IN RURAL MOLDOVA	Dr. Andrei Moraru Prof. Dr. Natalia Gherman Asst. Prof. Dr. Victor Bodrug Elena Cojocaru Dr. Sergiu Lupu
		5	GENDER-BASED VIOLENCE PREVENTION THROUGH SCHOOL-BASED SOCIAL WORK PROGRAMS IN NORTH MACEDONIA	Assoc. Prof. Dr. Biljana Stojanovska Dr. Marina Dimitrova
		6	INTEGRATING TRADITIONAL COMMUNITY SUPPORT SYSTEMS INTO MODERN SOCIAL WORK PRACTICE IN MACEDONIA	Prof. Dr. Zoran Markovski Asst. Prof. Dr. Katerina Todorova Dr. Stefan Jovanov Milica Petrov
		7	CHILD PROTECTION POLICIES AND FRONTLINE SOCIAL WORKER RESPONSES IN MACEDONIAN URBAN CENTERS	Dr. Gordana Velichkovska Assoc. Prof. Dr. Nikola Antov Prof. Dr. Ljiljana Mitev Asst. Prof. Dr. Bojan Spasov Dr. Vesna Karanfilova Ivana Ristova
		8	COMMUNITY-LED APPROACHES TO REDUCING CHILD MALNUTRITION IN RURAL SENEGAL	Aissata Diop Dr. Moussa Sarr Assoc. Prof. Dr. Fatou Ndiaye
		9	SOCIAL WORK INTERVENTIONS TO SUPPORT REFUGEE INTEGRATION IN DAKAR: POLICY AND PRACTICE INSIGHTS	Dr. Ibrahima Ba Prof. Dr. Marième Sow Asst. Prof. Dr. Cheikh Fall

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY and SOCIAL SCIENCES October 2 - 4, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
2 Ekim / October 2, 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. Pearl E. Tan**	1	MATERIALITY, MEMORY, AND CULTURAL IDENTITY IN CONTEMPORARY CERAMIC ART: REINTERPRETING TRADITIONAL CRAFT PRACTICES THROUGH EXPERIMENTAL SURFACE AND FORM	Prof. Dr. Timbul Raharjo Dr. Noor Sudiyati Arif Suharson Sri Kresnanto
		2	VISUAL ARTS, AFRICAN HERITAGE, AND CONTEMPORARY CREATIVITY: RECONSIDERING THE ROLE OF ART IN CULTURAL TRANSMISSION AND SOCIAL CHANGE	Babacar Mbaye Diop Dr. Samba Doucoure Dr. Abdoulaye Diouf
		3	ARTISTIC PRACTICES AND CULTURAL DIALOGUE IN DAKAR: EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN CONTEMPORARY ART, TRADITION, AND SOCIAL TRANSFORMATION	Abdoulaye Diouf Dr. Babacar Mbaye Diop Dr. Delphine Buysse Assoc. Prof. Dr. Delphine Abadie El Hadji Malick Ndiaye
		4	CONTEMPORARY AFRICAN ART AND THE RECONSTRUCTION OF CULTURAL MEMORY: ARTISTIC PRACTICES, HERITAGE, AND POSTCOLONIAL IDENTITIES IN SENEGAL	Prof. Dr. Babacar Mbaye Diop Dr. Samba Doucoure Dr. Delphine Abadie
		5	FROM TRADITIONAL CRAFT TO CONTEMPORARY DESIGN: INVESTIGATING MATERIAL EXPERIMENTATION AND CULTURAL SUSTAINABILITY IN PHILIPPINE ART PRACTICES	Prof. Dr. Norma A. Respicio Assoc. Prof. Dr. Pearl E. Tan Dr. Magno Asst. Prof. dr. Roselle V. Pineda
		6	ART EDUCATION AND CREATIVE PRACTICE IN THE DIGITAL AGE: NEW APPROACHES TO VISUAL COMMUNICATION, ARTISTIC PRODUCTION, AND CULTURAL ENGAGEMENT	Asst. Prof. Liza Ann A. Ilagan Asst. Prof. Fara Martia M. Nolasco
		7	REIMAGINING PHILIPPINE VISUAL CULTURE THROUGH CONTEMPORARY ART, MATERIAL PRACTICE, AND DIGITAL MEDIA	Assoc. Prof. Almina T. Tengco-Chan Asst. Prof. Ferdinand R. Doctolero Dr. Maria Consuelo G. Cabrera Prof. Dr. Patrick D. Flores
		8	ART, ECOLOGY, AND URBAN TRANSFORMATION: EXPLORING CONTEMPORARY ARTISTIC PRACTICES IN RESPONSE TO ENVIRONMENTAL AND SOCIAL CHANGE	Prof. Dr. Datuin Dr. Gerardo O. Lucena Assoc. Prof. Alden Q. Lauzon Jessica Nicole R. Manuel

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Contents

LİF TİPİNİN PERLİT DOLGULU HAFİF POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ 1

POMZA DOLGULU HAFİF POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE KARBON LİF BOYUNUN VE MİKTARININ ETKİSİ 14

YANGIN GECİKTİRİCİ KATKILI ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİN BELİRLİ MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI 25

KIZILÇAM ODUN UNU VE PİRİNÇ KAVUZU LİFİ TAKVİYELİ POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN BELİRLİ MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMALI İNCELENMESİ 36

DESIGN-ORIENTED ANALYSIS OF A HIGH STEP-UP QUADRATIC BOOST CONVERTER WITH COUPLED INDUCTOR AND CAPACITOR-LIFT CELLS 50

KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA YAPAY ZEKÂ KULLANIMI: EN SON GELİŞMELERİN İNCELENMESİ 64

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLARİNİN (GES) HESAPLAMASINDA KULLANILAN YAZILIMLARIN ETKİSİ 80

MODERN VERİ TABANI SİSTEMLERİNDE GÜVENLİK TEHDİTLERİ VE YAPAY ZEKÂ TABANLI ÇÖZÜMLER... 93

İKİLİ SINIFLANDIRMADA DENGESİZ VERİ İLE MÜCADELE: 20 VERİ SETİ ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME 104

ENERJİ FARKINDALIKLI ÖDÜL FONKSİYONU İLE ROBOT KOLU HAREKET KONTROLÜ: PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME TABANLI BİR YAKLAŞIM..... 106

MEMBERSHIP THRESHOLDS AND INTERVAL UNCERTAINTY FOR NEUTROSOPHIC HARMONIC POISSON SERIES 116

COEFFICIENT BOUNDS AND GEOMETRIC PROPERTIES OF SĂLĂGEAN WEIGHTED HARMONIC FUNCTIONS 126

ARDUINO UNO AND ESP8266-BASED IOT-INTEGRATED SMART GREENHOUSE AUTOMATION SYSTEM: AN APPLIED PROTOTYPE WITH PRIORITY LOGIC AND POWER MANAGEMENT..... 135

ESP32-BASED IoT-ENABLED SMART IRRIGATION SYSTEM WITH PULSE IRRIGATION ALGORITHM 141

PALLIATIVE CARE KNOWLEDGE AMONG MASTER'S STUDENTS IN NURSING 146

DİJİTAL NESİLDEN DİJİTAL HASTAYA: ÇOCUK VE ERGENLERDE DİJİTAL SAĞLIK OKURYAZARLIĞI VE PEDİATRİ HEMŞİRESİNİN ROLÜ 147

NESNELERİN TIBBİ İNTERNETİ İLE HEMŞİRELİK BAKIMININ DÖNÜŞÜMÜ: FIRSATLAR, GÜÇLÜKLER VE GELECEK PERSPEKTİFİ 157

USE OF MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS AS NATURAL PRESERVATIVES IN MEAT AND MEAT PRODUCTS: A REVIEW ON ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL EFFICACY..... 168

IN SILICO EVALUATION OF THE PHARMACOKINETIC AND TOXICITY PROFILES OF 1,2,4-TRIAZOLE DERIVATIVES USING SWISSADME AND PROTOX..... 180

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA FİZİKSEL VE BİLİŞSEL ERGONOMİ GEREKSİNİMLERİNİN KALİTE FONKSİYON YAYILIMI (QFD) İLE ANALİZİ 181

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A HYBRID STORM BRAKE FOR PORTAL CRANES..... 182

FARKLI KAYNAK YÖNTEMLERİ İLE BİRLEŞTİRİLEN GEMİ ÇELİKLERİNDE KAYNAK BÖLGESİNİN MEKANİK VE MİKROYAPISAL İNCELENMESİ..... 184

KOLAY YIRTILABİLİR, BARİYERLİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR POLİETİLEN FİLM GELİŞTİRİLMESİ..... 185

AÇMASI KOLAY, KAYNAK YAPIŞMA SORUNU OLMAYAN PE KÜVET İLE UYUMLU ÜST FOLYO GELİŞTİRİLMESİ 188

SİVAS İLİNİN FOTOVOLTAİK ÜRETİM POTANSİYELİ: GÜNEŞ IŞINIMI, ÖZGÜL ÜRETİM VE İKLİMSEL ETKİLERİN ANALİZİ 191

SİVAS İLİ RÜZGÂR KAYNAĞININ WEİBULL DAĞILIMI VE YÜKSEKLİK EKSTRAPOLASYONU İLE ANALİZİ... 198

PHOCATALYTIC REMOVAL OF METHYLENE BLUE DYE BY USING METAL OXIDE SUPPORTED BIMETALLIC MOF 208

METHYLENE BLUE REMOVAL PERFORMANCES USING MESOPOROUS SILICA 215

BİYOGAZDAKİ HİDROJEN SÜLFÜR VE SİLOKSANLARIN GİDERİMİNDE METAL OKSİT TABANLI NANOKOMPOZİTLER: PERFORMANS, SEÇİCİLİK VE REJENERASYONA YÖNELİK DENEYSEL ARAŞTIRMA TASARIMI..... 221

RELATIONSHIP BETWEEN PHYSICAL GEOMETRY AND BLANCHING QUALITY PARAMETERS IN TURKISH HAZELNUT CULTIVARS (CVS. TOMBUL AND PALAZ)..... 222

QUALITY-MINERAL RELATIONSHIPS IN FRESH TEA LEAVES (*Camellia sinensis* L.) UNDER DIFFERENT SUNLIGHT EXPOSURE CONDITIONS 234

NARLARDA (*Punica granatum* L.) GÖRÜLEN BAŞLICA HASTALIKLAR VE FİZYOLOJİK SORUNLAR 250

NAR (*Punica granatum* L.) HASTALIKLARI MÜCADELESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİM STRATEJİLERİ 263

KSİLOFAJ BÖCEKLERİN DOĞADAKİ İŞLEVLERİ VE EKOLOJİK ÖNEMİ 274

ÜLKEMİZDE BULUNAN KSİLOFAJ BÖCEK TÜRLERİ, BİYOLOJİLERİ, ÖNEMLERİ VE YAYGINLIKLARI..... 283

NANOPARTICLES IN THE DROUGHT-STRESSED PLANT: FROM ROS CONTROL TO IMPROVED STRESS PERFORMANCE 292

EVCİL KEDİ VE KÖPEK BESLEMESİNDE YENİ NESİL YAKLAŞIMLAR 306

HAYVAN BESLEMEDE YENİ ORTAYA ÇIKAN MİKOTOKSİNLER VE ÇOKLU KONTAMİNASYON RİSKLERİ.... 333

DOĞAL EKOSİSTEMLERİ KORUYAN BAZI YASAL HÜKÜMLERİN YENİ YASAL DÜZENLEMELER İLE KALDIRILMASINA İLİŞKİN DEĞERLENDİRMELER 354

SAF LADİN ORMANLARINDA KAR ÜZERİNDE SÜRÜTEREK BÖLMEDEN ÇIKARMANIN FİDANLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ..... 370

ORMAN OKULLARINDA MANTAR TEMELLİ DOĞA EĞİTİMİ: ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİNDE EKOLOJİK FARKINDALIK, BİLİMSEL SÜREÇ BECERİLERİ VE DOĞAYLA BAĞ KURMA ÜZERİNE BİR DERLEME 379

FARKLI YAŞLARDAKİ KIZILÇAM TOHUM BAHÇELERİNDE TOHUM VE KOZALAK ÖZELLİKLERİ..... 397

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI YABANCI OT FLORASINDAKİ DEĞİŞİMLER VE GELECEKTEKİ YABANCI OT YÖNETİMİNE YANSIMALARI..... 404

HASSAS TARIMDA ALANA ÖZGÜ YABANCI OT KONTROLÜ: TEKNOLOJİLER VE UYGULAMALAR 424

SU STRESİNİN YABANCI OTLARIN BİYOLOJİSİ, BÜYÜMESİ, ÜREMESİ VE MÜCADELESİNE ETKİLERİ..... 433

ENTEGRE YABANCI OT YÖNETİMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK..... 448

ANAEROBİK FUNGUSLARIN LİKENAZ ENZİM ÜRETİMİ, KAREKTERİZASYONU VE BİYOTEKNOLOJİK KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ, ARAŞTIRILMASI 459

INVESTIGATION OF LICHENASE ENZYME PRODUCTION, CHARACTERİZATION, AND BIOTECHNOLOGICAL APPLICABILITY OF ANAEROBIC FUNGI 460

SEROPREVALENCE OF BRUCELLA ABORTUS AND BRUCELLA MELITENSIS INFECTION IN DAIRY CATTLE AND SMALL RUMINANTS AND ASSOCIATED RISK FACTORS IN RURAL REGIONS OF IRAN 461

PREVALENCE AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF ANTIMICROBIAL-RESISTANT ESCHERICHIA COLI ISOLATED FROM BROILER CHICKENS IN COMMERCIAL POULTRY FARMS OF NORTHERN IRAN 462

GENETIC DIVERSITY AND PHYLOGENETIC ANALYSIS OF AFRICAN SWINE FEVER VIRUS STRAINS CIRCULATING IN SMALLHOLDER PIG FARMS OF THE RED RIVER DELTA, VIETNAM 463

EFFECTS OF HERBAL FEED ADDITIVES ON GROWTH PERFORMANCE, INTESTINAL MORPHOLOGY AND IMMUNE RESPONSE IN WEANED PIGLETS UNDER TROPICAL FARMING CONDITIONS 464

DETECTION OF HIGHLY PATHOGENIC AVIAN INFLUENZA H5N1 VIRUS IN BACKYARD POULTRY AND LIVE BIRD MARKETS IN WEST JAVA, INDONESIA: A ONE HEALTH SURVEILLANCE APPROACH 465

CLINICAL, HAEMATOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ALTERATIONS IN BALI CATTLE NATURALLY INFECTED WITH TRYPANOSOMA EVANSI IN EAST NUSA TENGGARA PROVINCE 466

ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF MORINGA OLEIFERA LEAF EXTRACT AGAINST STAPHYLOCOCCUS AUREUS ISOLATED FROM SUBCLINICAL MASTITIS CASES IN DAIRY GOATS 467

ASSESSING THE LONG-TERM IMPACTS OF OPEN-PIT COPPER MINING ON FOREST COVER, SOIL QUALITY AND VEGETATION DIVERSITY IN THE ZAGROS OAK FORESTS OF WESTERN IRAN USING MULTI-TEMPORAL SATELLITE IMAGERY 468

A GIS-BASED MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING FRAMEWORK FOR PRIORITIZING THE ECOLOGICAL RESTORATION OF ABANDONED IRON ORE MINES WITHIN THE HYRCANIAN FORESTS OF NORTHERN IRAN 469

EVALUATING THE EFFECTS OF BAUXITE MINING ON DEFORESTATION, WATERSHED HYDROLOGY AND LIVELIHOODS OF INDIGENOUS COMMUNITIES IN THE CENTRAL HIGHLANDS OF VIETNAM 470

HEAVY METAL ACCUMULATION IN NATIVE TREE SPECIES AND THEIR POTENTIAL FOR PHYTOREMEDIATION OF COAL MINE SPOIL DUMPS IN QUANG NINH PROVINCE, VIETNAM 471

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF TROPICAL RAINFOREST LOSS DRIVEN BY NICKEL MINING EXPANSION IN SULAWESI, INDONESIA: IMPLICATIONS FOR BIODIVERSITY CONSERVATION AND SUSTAINABLE LAND-USE POLICY 472

POST-MINING LAND RECLAMATION SUCCESS IN EAST KALIMANTAN COAL CONCESSIONS: A COMPARATIVE ASSESSMENT OF SOIL PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, VEGETATION RECOVERY AND CARBON SEQUESTRATION POTENTIAL 473

THE ROLE OF ARTISANAL AND SMALL-SCALE GOLD MINING IN MERCURY CONTAMINATION OF PEAT SWAMP FORESTS AND RIVER ECOSYSTEMS IN CENTRAL KALIMANTAN, INDONESIA 474

APPLICATION OF UAV-BASED LIDAR AND MACHINE LEARNING FOR MONITORING FOREST CANOPY REGENERATION ON REHABILITATED TIN MINING LANDS IN PERAK, MALAYSIA 475

A HYBRID DEEP LEARNING FRAMEWORK FOR REAL-TIME ANOMALY DETECTION IN INDUSTRIAL IOT NETWORKS USING TEMPORAL CONVOLUTIONAL AND GRAPH NEURAL ARCHITECTURES 476

A LIGHTWEIGHT POST-QUANTUM CRYPTOGRAPHIC PROTOCOL FOR SECURE FIRMWARE UPDATES IN RESOURCE-CONSTRAINED EMBEDDED SYSTEMS: DESIGN, FPGA IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE EVALUATION 477

ENERGY-EFFICIENT TASK SCHEDULING IN HETEROGENEOUS EDGE-CLOUD ENVIRONMENTS BASED ON MULTI-OBJECTIVE REINFORCEMENT LEARNING FOR SMART AGRICULTURE APPLICATIONS IN CENTRAL ASIA 478

FORMAL VERIFICATION OF SAFETY-CRITICAL AUTOMOTIVE SOFTWARE COMPONENTS USING MODEL CHECKING AND STATIC ANALYSIS TECHNIQUES IN AUTOSAR-COMPLIANT ARCHITECTURES 479

A TRANSFORMER-BASED APPROACH FOR BANGLA HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION WITH DATA AUGMENTATION AND TRANSFER LEARNING ON LOW-RESOURCE DATASETS 480

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A LOW-COST IOT-BASED FLOOD EARLY WARNING SYSTEM USING LORAWAN SENSOR NETWORKS AND MACHINE LEARNING PREDICTION MODELS FOR RIVERINE REGIONS OF BANGLADESH 481

PERFORMANCE ANALYSIS OF BLOCKCHAIN-BASED DECENTRALIZED IDENTITY MANAGEMENT SYSTEMS FOR SECURE DIGITAL HEALTH RECORDS IN DEVELOPING COUNTRIES 482

OPTIMIZING 5G NETWORK SLICING THROUGH SOFTWARE-DEFINED NETWORKING AND NETWORK FUNCTION VIRTUALIZATION FOR ULTRA-RELIABLE LOW-LATENCY COMMUNICATION IN SMART CITY INFRASTRUCTURES 483

RECOVERY OF RARE EARTH ELEMENTS FROM INDUSTRIAL FLY ASH USING ORGANIC ACID LEACHING AND SOLVENT EXTRACTION: EXPERIMENTAL STUDY AND TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT 484

DEVELOPMENT OF LOW-COST ADSORBENTS FROM COTTON STALK WASTE FOR THE REMOVAL OF HEAVY METAL IONS FROM MINING WASTEWATER: ISOTHERM, KINETIC AND THERMODYNAMIC ANALYSIS 485

THERMOCHEMICAL CONVERSION OF LOCAL COAL AND AGRICULTURAL RESIDUES INTO SYNTHESIS GAS THROUGH CO-GASIFICATION IN A FLUIDIZED-BED REACTOR UNDER VARYING STEAM-TO-FUEL RATIOS 486

SUSTAINABLE PRODUCTION OF BIODIESEL FROM WASTE COOKING OIL USING EGGSHELL-DERIVED CALCIUM OXIDE HETEROGENEOUS CATALYST: PARAMETRIC OPTIMIZATION BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY 487

TREATMENT OF TEXTILE DYEING EFFLUENT BY COMBINED ELECTROCOAGULATION AND ADVANCED OXIDATION PROCESSES: PERFORMANCE EVALUATION, ENERGY CONSUMPTION AND SLUDGE CHARACTERIZATION 488

MEMBRANE-BASED SEPARATION OF CARBON DIOXIDE FROM NATURAL GAS USING MIXED MATRIX MEMBRANES INCORPORATED WITH METAL-ORGANIC FRAMEWORKS: SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND GAS PERMEATION PERFORMANCE 489

VALORIZATION OF PALM OIL MILL EFFLUENT INTO BIOHYDROGEN AND BIOMETHANE THROUGH TWO-STAGE ANAEROBIC DIGESTION: PROCESS STABILITY, MICROBIAL COMMUNITY AND ENERGY RECOVERY ANALYSIS 490

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS SIMULATION OF HEAT AND MASS TRANSFER IN A PACKED-BED ABSORPTION COLUMN FOR POST-COMBUSTION CARBON CAPTURE USING AQUEOUS AMINE BLENDS 491

INTEGRATED PEST MANAGEMENT STRATEGIES FOR SUSTAINABLE CROP PRODUCTION IN TROPICAL REGIONS 492

SUSTAINABLE LIVESTOCK PRODUCTION AND ANIMAL NUTRITION STRATEGIES FOR IMPROVED FOOD SECURITY 493

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

CLIMATE-SMART AGRICULTURE PRACTICES FOR ADAPTATION AND MITIGATION IN WEST AFRICAN FARMING SYSTEMS 494
POST-HARVEST LOSS REDUCTION AND FOOD SECURITY ENHANCEMENT THROUGH IMPROVED STORAGE TECHNOLOGIES 495
AGROFORESTRY SYSTEMS AND BIODIVERSITY CONSERVATION IN MEDITERRANEAN CLIMATE ZONES 496
PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES FOR OPTIMIZING FERTILIZER APPLICATION AND YIELD PREDICTION 497
MOLECULAR MECHANISMS OF DROUGHT TOLERANCE IN WEST AFRICAN CROP VARIETIES 498
GENETIC DIVERSITY AND CONSERVATION STRATEGIES FOR SENEGALESE MANGROVE ECOSYSTEMS . 499
BIOTECHNOLOGICAL APPROACHES TO ENHANCE NITROGEN USE EFFICIENCY IN PAKISTANI WHEAT CULTIVARS 500
MOLECULAR MARKER-ASSISTED SELECTION FOR DISEASE RESISTANCE IN PAKISTANI RICE VARIETIES 501
GENOMIC CHARACTERIZATION OF BRUCELLOSIS PATHOGENS IN IRAQI LIVESTOCK POPULATIONS 502
ECOLOGICAL IMPACTS OF TIGRIS-EUPHRATES WETLAND RESTORATION ON BIRD MIGRATION PATTERNS 503
MOLECULAR PHYLOGENY AND CONSERVATION GENETICS OF IRAQI FRESHWATER FISH SPECIES..... 504
BIODIVERSITY ASSESSMENT OF ENDEMIC PLANT SPECIES IN KOSOVO'S ACCURSED MOUNTAINS..... 505
REVITALIZATION OF TRADITIONAL BATIK ART THROUGH CONTEMPORARY DESIGN PRACTICES IN INDONESIA 506
CULTURAL SYMBOLISM IN BALINESE PAINTING AND ITS TRANSFORMATION IN MODERN VISUAL ARTS 507
CONTEMPORARY FILIPINO STREET ART AS A MEDIUM OF POLITICAL EXPRESSION AND SOCIAL COMMENTARY 508
VISUAL NARRATIVES IN FILIPINO CONTEMPORARY PHOTOGRAPHY AND URBAN TRANSFORMATION 511
TRADITIONAL WEAVING TECHNIQUES AND THEIR INTEGRATION INTO MODERN FILIPINO FASHION DESIGN 512
AFRICAN MASK ART AND ITS INFLUENCE ON CONTEMPORARY SENEGALESE SCULPTURE..... 513
THE ROLE OF MUSIC AND PERFORMANCE ART IN SENEGAL'S CULTURAL IDENTITY FORMATION 514
SUSTAINABLE HOUSING SOLUTIONS FOR RAPID URBANIZATION IN LAGOS METROPOLITAN AREA 515
STRUCTURAL INTEGRITY ASSESSMENT OF HIGH-RISE BUILDINGS IN NIGERIAN SEISMIC ZONES 516
EARTHQUAKE-RESISTANT DESIGN METHODOLOGIES FOR UKRAINIAN URBAN INFRASTRUCTURE 517
ENERGY-EFFICIENT BUILDING MATERIALS FOR POST-CONFLICT RECONSTRUCTION IN UKRAINE..... 518
CLIMATE-ADAPTIVE ARCHITECTURE FOR ETHIOPIAN HIGHLAND COMMUNITIES 519
INNOVATIVE CONSTRUCTION TECHNIQUES FOR AFFORDABLE HOUSING IN ADDIS ABABA 520
WATER MANAGEMENT SYSTEMS IN SUSTAINABLE URBAN PLANNING FOR ETHIOPIAN CITIES..... 521

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

LİF TİPİNİN PERLİT DOLGULU HAFİF POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Doç. Dr. SERHAT ÇELİKTEN[1], Prof. Dr. MEHMET CANBAZ[2]

[1]Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,

scelikten@nevsehir.edu.tr - 0000-0001-8154-7590

[2]Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,

mcanbaz@ogu.edu.tr- 0000-0002-0175-6155

Bu çalışmada, lif tipinin ve miktarının perlit dolgulu hafif polimer kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Matris malzemesinde bağlayıcı olarak döküm tipi polyester reçine kullanılırken, dolgu maddesi olarak genleştirilmiş perlit ve ham perlit tercih edilmiştir. Hazırlanan kompozit yapılarda lif takviyesi olarak polipropilen, cam ve karbon lifler kullanılmış, ayrıca estetik ve görsel özellik kazandırmak amacıyla numunelere %1 oranında renk pigmenti ilave edilmiştir. Üretilen hafif polimer kompozit numunelerin karakterizasyonu kapsamında; birim ağırlık, ultrases geçiş süresi, su emme, aşınma, eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda; farklı lif türlerinin ve kullanım oranlarının kompozit malzemenin birim ağırlığı, ultrases geçiş hızı, su emme davranışı, aşınma direnci ile eğilme ve basınç dayanımları üzerindeki değişimleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif Polimer Kompozit, Polyester Reçine, Perlit, Lif Takviyesi (Cam, Karbon, Polipropilen), Mekanik Özellikler, Fiziksel Özellikler.

Influence of Fiber Type on the Mechanical and Physical Properties of Perlite-Filled Lightweight Polymer Composites

ABSTRACT

In this study, the effects of fiber type and content on the physical and mechanical properties of perlite-filled lightweight polymer composites were investigated. Casting-type polyester resin was used as the binder in the matrix material, while expanded perlite and raw perlite were selected as filler materials. Polypropylene, glass, and carbon fibers were utilized as fiber

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

reinforcement in the prepared composite structures, and 1% color pigment by weight was added to the samples to impart aesthetic properties. Within the scope of the characterization of the produced lightweight polymer composite specimens, unit weight, ultrasonic pulse velocity, water absorption, abrasion, flexural strength, and compressive strength tests were conducted. As a result of the experimental studies, the changes in unit weight, ultrasonic pulse velocity, water absorption behavior, abrasion resistance, and flexural and compressive strengths of the composite material depending on different fiber types and loading ratios were evaluated in detail.

Keywords: Lightweight Polymer Composite, Polyester Resin, Perlite, Fiber Reinforcement (Glass, Carbon, Polypropylene), Mechanical Properties, Physical Properties.

1. GİRİŞ

Son yıllarda inşaat, otomotiv ve imalat sektörlerinde hafiflik, yüksek özgül mukavemet ve korozyon direnci sunan polimer kompozit malzemelere olan ilgi giderek artmaktadır [1]. Yapısal uygulamalarda ölü yüklerin azaltılması, enerji verimliliğinin artırılması ve lojistik maliyetlerin düşürülmesi amacıyla hafif kompozitlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır [2].

Polimer kompozitlerin matris fazında sıklıkla tercih edilen döküm tipi doymamış polyester reçineler; oda sıcaklığında hızlı kürlenebilme, alternatiflerine göre düşük maliyet, işleme kolaylığı ve yüksek mekanik performans gibi avantajlar sunmaktadır [3]. Polyester matrisin maliyetini düşürmek, birim ağırlığını azaltmak ve termal/fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla matris içerisine çeşitli inorganik dolgu maddeleri dahil edilmektedir [4]. Bu kapsamda ham ve genleştirilmiş perlit; düşük birim ağırlığı, hücresel/gözenekli mikro yapısı, yüksek kimyasal kararlılığı ve ısı yalıtım yeteneği sayesinde hafif polimer kompozit üretiminde öne çıkan bir mineral dolgudur [5].

Ancak, yalnız dolgu içeren polimer matrisler darbe ve eğilme gerilmeleri altında gevrek davranış sergileme eğilimindedir. Bu sınırlamayı aşmak ve malzemenin mekanik performansını artırmak amacıyla kompozit yapıya lif takviyesi yapılması yaygın bir yaklaşımdır [6]. Kompozit yapılarda kullanılan polipropilen (PPF), cam (GF) ve karbon (CF) lifler, matriste oluşan mikro çatlakları köprüleyerek yük aktarımına katkı sağlamakta ve sünekliği geliştirmektedir [7-9]. Düşük yoğunluğu ve esnekliği ile bilinen polipropilen lifler malzemenin darbe yutumunu artırırken [10]; yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahip E-camı sınıfı

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

lifler ekonomik bir takviye çözümü sunmakta [11], yüksek elastisite modülüne sahip sürekli karbon lifler ise yapının rijitliğini ve eksenel yük taşıma kapasitesini üst seviyeye taşımaktadır [12].

Literatürde lif takviyeli polimer sistemler üzerine çok sayıda araştırma yer almasına karşın; döküm tipi polyester reçine ve perlit dolgulu matris içerisinde farklı karakterdeki lif türlerinin (organik, inorganik ve sentetik) ve kullanım oranlarının fiziko-mekanik, aşınma ve su emme davranışları üzerindeki eş zamanlı ve karşılaştırmalı etkilerini inceleyen bütüncül çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı; farklı lif türlerinin (polipropilen, cam ve karbon) ve hacimsel/kütlesel kullanım oranlarının (%0, %2 ve %10) perlit dolgulu hafif polimer kompozitlerin birim ağırlık, ultrases geçiş hızı (UPV), eğilme dayanımı, basınç dayanımı, su emme davranımı ve aşınma direnci üzerindeki etkilerini sistematik ve deneysel olarak ortaya koymaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Polimer kompozit numunelerin üretiminde bağlayıcı matris malzemesi olarak döküm tipi polyester reçine tercih edilmiş olup, reçineye ait viskozite (350–450 Cps), stiren oranı (%38–40), çekme dayanımı (50–60 MPa) ve eğilme dayanımı (85–95 MPa) gibi temel fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler **Çizelge 1**'de verilmiştir. Reçine matrisinin reaksiyonunu başlatmak ve kürlenmeyi sağlamak amacıyla sertleştirici olarak metil etil keton peroksit, reaksiyon hızlandırıcısı olarak ise kobalt oktoat kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak genleştirilmiş perlit ve ham perlit birlikte kullanılmış olup, yüksek silis (%71,36 SiO_2) ve alümina (%13,72 Al_2O_3) içeriğine sahip bu dolgunun birim ağırlığı $0{,}285\ \mathrm{kg/dm^3}$ olarak belirlenmiştir; dolgu malzemesine ait kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler **Çizelge 2**'de sunulmuştur. Kompozit sistemlere estetik ve görsel özellik kazandırmak amacıyla karışımlara %1 oranında siyah, kahverengi, sarı, kırmızı ve yeşil renkli toz pigmentler ilave edilmiştir. Kompozit yapıların mekanik performansını geliştirmek üzere lif takviyesi olarak polipropilen, cam ve karbon lifler kullanılmıştır. Bu kapsamda takviye elemanı olarak alkalisi düşük E-cam sınıfı cam lifler (silan kaplı, $11-15\ \mu$m filament çaplı), 13 mm uzunluğunda kırpılmış polipropilen elyaf (400 MPa çekme dayanımı, 145 ºCmaksimum çalışma sıcaklığı) ve sürekli karbon lif tercih edilmiş olup, kullanılan lif takviyelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri **Çizelge 3**'te detaylandırılmıştır. Kullanılan malzemeler **Grafik 1**'de gösterilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 1. Kullanılan lifler ve perlit

Çizelge 1. Bağlayıcı malzemenin özellikleri

Viskozite Cps	Stiren Oranı, %	Asit, MgKOH/g	Ekzotermik Isı, °C	Özgül Ağırlık	Jelleşme Süresi (dakika)	Çekme Dayanımı, MPa	Eğilme Dayanımı, MPa	Barcol Sertliği
350-450	38-40	18-24	175	1.1-1.11	10-15	50-60	85-95	40 – 42

Çizelge 2. Filler malzemelerin özellikleri

Dolgu Malzemesi	SiO_2, %	Al_2O_3, %	Fe_2O_3, %	MgO, %	Birim Ağırlık, kg/dm^3
Perlit	71.36	13.72	3.31	-	0.285

Çizelge 3. Fiberlerin özellikleri

Fiber Türü	Çekme Dayanımı, MPa	Elastisite Modülü., GPa	Sıvı Tutma Kapasitesi.	Maksimum Çalışma Sıcaklığı	Uzunluk mm	Çap, µm	Lif Adedi (Milyon/kg)
Polipropilen	400	3.5-3.9	0 %	145 °C	13	22	224
	Cam Türü	Nem, %	Haşıl Tipi	Lif Teks Değeri		Filament Çapı, □	
Cam	E-Sınıfı Cam	0,15-02	silan	600, 1200, 2400		11 – 15	
	Çekme Dayanımı, Mpa	Çekme Modülü, Gpa		Birim Şekil Değiştirme, %	Yoğunluk, g/cm^3		İplik Verimi/1000m
Karbon	240	4200		1,8	1,78		800

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Polimer kompozit numunelerin üretiminde, döküm tipi polyester reçineye ağırlıkça %1 oranında hızlandırıcı ve %1 oranında sertleştirici ilave edildikten sonra karışım oranları **Çizelge 4**'te verilen perlit dolgu malzemesi (perlit/reçine oranı 0,13), belirlenen oranlarda lif takviyesi (lif/reçine oranı %0, %2 ve %10) ve reçine ağırlığının %1'i oranında renk pigmenti eklenerek matris içerisinde homojen bir dağılım elde edilinceye kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Hazırlanan homojen kompozit karışımlardan $4 \times 4 \times 16$ cm boyutlarında prizma ve $5 \times 5 \times 5$ cm boyutlarında küp numuneler dökülerek kürlenmeye bırakılmıştır. Sertleşen numunelerin fiziksel, mekanik ve durabilite performanslarını belirlemek amacıyla birim ağırlık, ultrases geçiş süresi/hızı (UPV), su emme, aşınma kaybı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, lif türünün (polipropilen, cam ve karbon lif) ve kullanım miktarının perlit dolgulu hafif polimer kompozitlerin birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı, su emme davranımı ile aşınma direnci üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Çizelge 4. Kompozitlerin karışım oranları

Perlit / Reçine	Lif / Reçine	Hızlandırıcı / Reçine	Sertleştirici / Reçine
0.13	0-2-10 %	1 %	1 %



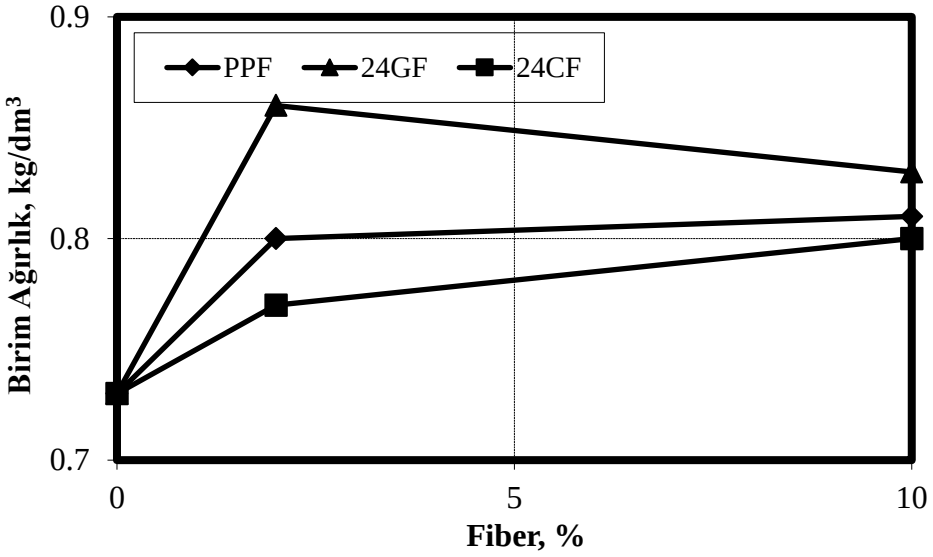
Görsel 2. Üretim, basınç dayanım deneyi ve numune kesiti

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Farklı lif türleri (polipropilen, cam ve karbon lif) ve katkı oranlarının perlit dolgulu hafif polimer kompozitlerin birim ağırlığı üzerindeki etkileri incelendiğinde (**Görsel 3**), lifsiz kontrol numunesinin 0,73 kg/dm³ olan birim ağırlık değerinin, lif ilavesiyle birlikte tüm numunelerde

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

0,73 ile 0,86 kg/dm³ aralığında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Elde edilen tüm birim ağırlık değerlerinin 1,0 kg/dm³ eşiğinin belirgin şekilde altında kalması, geliştirilen malzemenin hafif kompozit niteliğini koruduğunu göstermekte olup; bu durum yapısal uygulamalarda ölü yükün azaltılması, taşıma ve montaj kolaylığı sağlanması ve özgül mukavemetin artırılması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Lif türlerinin yoğunluk üzerindeki etkileri incelendiğinde ise özgül ağırlığı yüksek olan cam lif (24GF) takviyeli numunelerin en yüksek birim ağırlık değerlerine (0,83–0,86 kg/dm³) ulaştığı; buna karşın yüksek mukavemetini düşük yoğunluğuyla birleştiren karbon liflerin (24CF) lifli kompozitler arasında en düşük birim ağırlık değerlerini (0,77–0,80 kg/dm³) sağladığı, polipropilen liflerin (PPF) ise organik ve hafif yapısı sayesinde birim ağırlıkta daha dengeli bir seyir (0,80–0,81 kg/dm³) oluşturduğu görülmüştür.

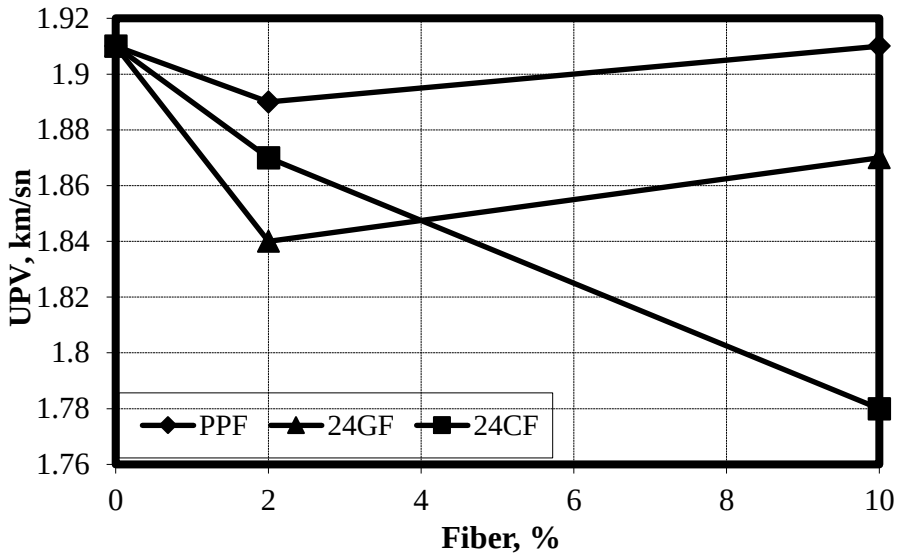


Görsel 3. Lif çeşit ve oranının birim ağırlığa etkisi

Perlit dolgulu hafif polimer kompozitlerin ultrases geçiş hızı (UPV) değerleri incelendiğinde (**Görsel 4**), lifsiz kontrol numunesinde 1,91 km/sn olarak ölçülen ses hızının lif türü ve kullanım oranına bağlı olarak 1,78 km/sn ile 1,91 km/sn aralığında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Malzemenin iç yapı yoğunluğu ve mikro boşluk miktarı hakkında bilgi veren UPV değerlerindeki genel düşüş eğilimi, yapıya lif dahil edilmesiyle oluşan lif-matris arayüzeylerinin ve mikro boşlukların ses dalgalarının yayılımını sönümlemesinden kaynaklanmaktadır. Lif türlerinin etkisi detaylandırıldığında; polipropilen lifler (PPF) polyester matris ile sağladığı iyi arayüzey uyumu sayesinde %10 kullanım oranında dahi kontrol numunesinin ses hızını (1,91 km/sn) koruyarak en yüksek UPV değerlerini sergilemiştir. Buna karşın, karbon lif (24CF) takviyeli kompozitlerde artan lif miktarı ile birlikte ses hızında sürekli bir gerileme yaşanmış ve %10 karbon lif katkısında en düşük UPV değeri (1,78 km/sn) elde

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

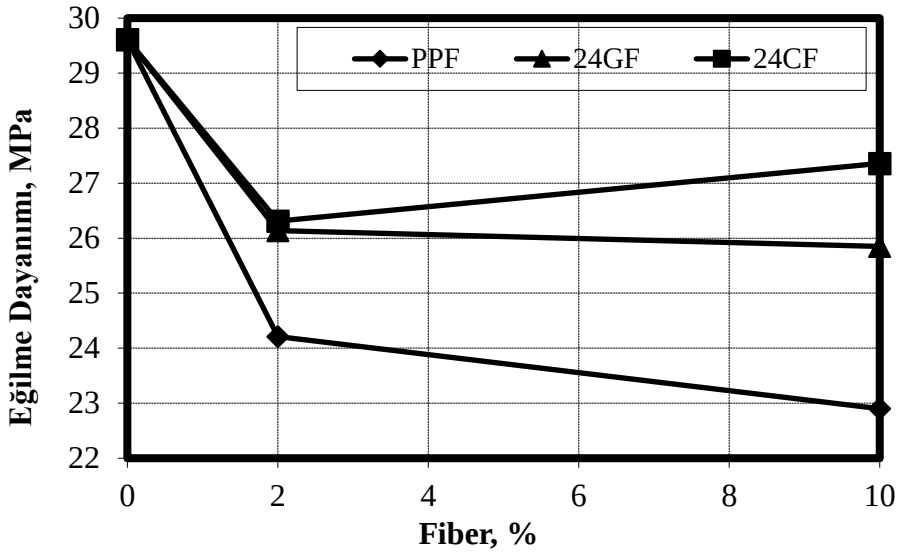
edilmiştir; bu durum yüksek oranlı karbon liflerin matris içinde mikro düzeyde hava boşlukları ve topaklanmalar oluşturmasıyla açıklanmaktadır. Cam lifler (24GF) ise %2 ve %10 katkı oranlarında sırasıyla 1,84 km/sn ve 1,87 km/sn değerleri ile bu iki lif türü arasında ara bir performans sergilemiştir.



Görsel 4. Lif çeşit ve oranının ultrases geçiş hızına etkisi

Perlit dolgulu hafif polimer kompozitlerin eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde (**Görsel 5**), lifsiz kontrol numunesinde 29,6 MPa olarak belirlenen dayanım değerinin, lif takviyesiyle birlikte tüm gruplarda 22,9 MPa ile 27,4 MPa aralığına gerilediği görülmüştür. Lifli numuneler arasında en yüksek eğilme dayanımını yüksek elastisite modülü sayesinde karbon lifler (%10 katkıda 27,4 MPa) sağlarken, bunu sırasıyla cam lifler (25,8–26,1 MPa) ve polipropilen lifler (22,9–24,2 MPa) takip etmiştir. Kuramsal olarak lif takviyesinin matriste çatlak köprüleme mekanizması oluşturarak eğilme dayanımını artırması beklenmektedir. Ancak çalışmada kullanılan %2 ve üzerindeki lif hacim oranlarının matris içerisinde yerel topaklanmalara ve faz süreksizliğine yol açtığı, bunun sonucunda reçine-lif arayüzey yapışmasını zayıflatarak eğilme performansını olumsuz etkilediği değerlendirilmiştir. Yapıdaki bu süreksizlik sorununu aşmak ve optimum lif katkısını tespit edebilmek amacıyla, ilerleyen çalışmalarda %2'nin altındaki daha düşük lif hacim oranlarının (%0,25–%1,5) incelenmesi önerilmektedir.

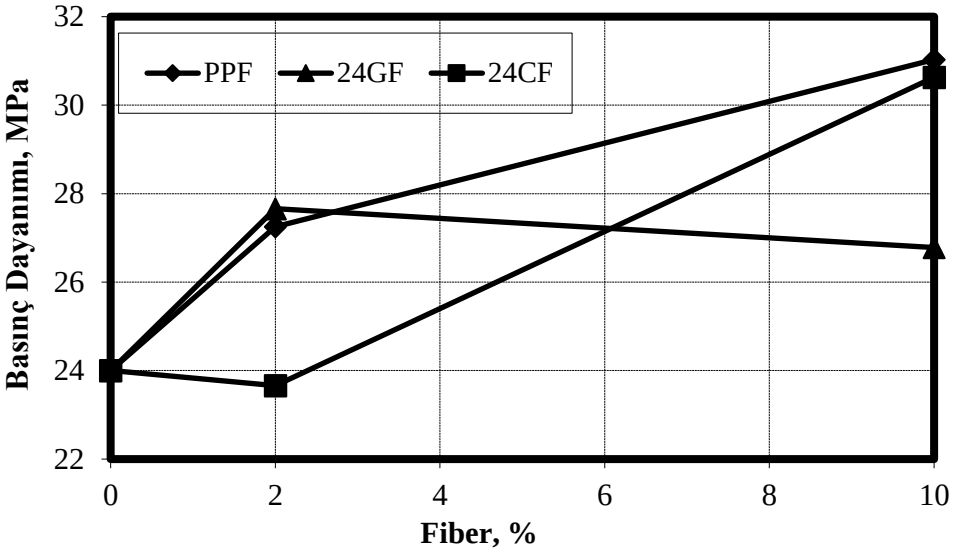
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 5. Lif çeşit ve oranının eğilme dayanımına etkisi

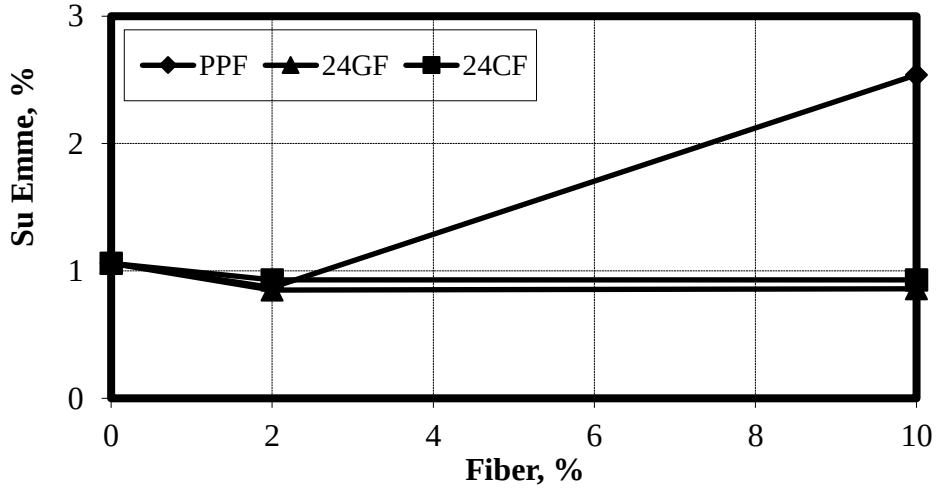
Perlit dolgulu hafif polimer kompozitlerin basınç dayanımı değerleri incelendiğinde (**Görsel 6**), lifsiz kontrol numunesinde 24,0 MPa olan mukavemet değerinin lif takviyesiyle genel bir artış eğilimi göstererek 23,6 MPa ile 31,0 MPa aralığına yükseldiği tespit edilmiştir. En yüksek basınç dayanımı %10 polipropilen lif (31,0 MPa) ve %10 karbon lif (30,6 MPa) takviyeli numunelerde elde edilmiştir. Eğilme dayanımında %2 ve üzeri lif oranlarında gözlenen performans kaybının aksine, basınç dayanımında elde edilen bu belirgin iyileşme, yükleme türlerinin farklı hasar mekanizmalarından kaynaklanmaktadır. Eğilme (çekme) yükleri altında arayüzey süreksizlikleri ve boşluklar gerilme yığılma noktası oluşturarak erken kırılmayı tetiklerken; basınç yükleri altında eksenel kuvvete bağlı gelişen yanal genişleme ve mikro çatlak ilerlemeleri, matris içerisindeki liflerin sağladığı yanal sargı (kısıtlama) etkisiyle dikişlenmektedir. Liflerin matrisin enlemesine dağılmasını fiziksel olarak engellemesi ve çatlak ilerlemesini sönümlemesi, yapıda mikro düzeyde süreksizlikler bulunsa dahi kompozitin basınç dayanımının belirgin şekilde artmasını sağlamıştır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 6. Lif çeşit ve oranının basınç dayanımına etkisi

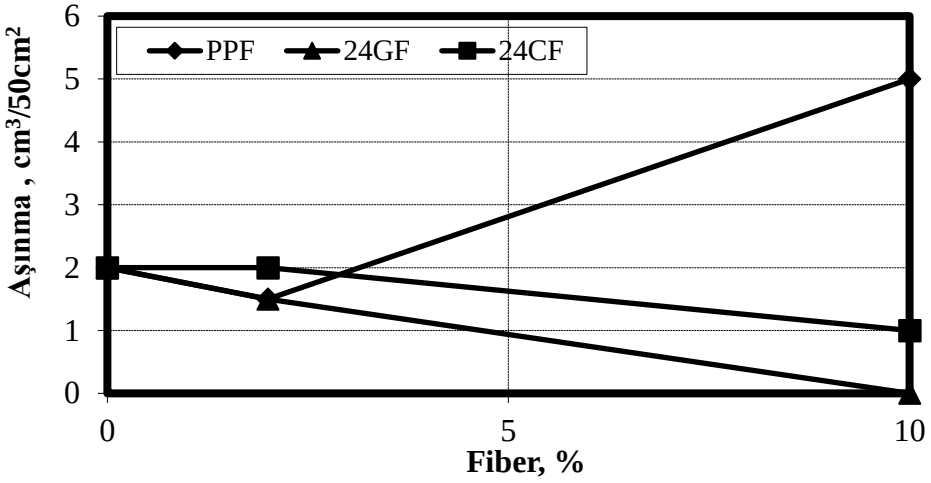
Perlit dolgulu hafif polimer kompozitlerin su emme oranları incelendiğinde (**Görsel 7**), lifsiz kontrol numunesinde yaklaşık %1,05 olarak belirlenen su emme değerinin, %2 lif ilavesiyle birlikte tüm lif türlerinde hafif bir düşüş göstererek %0,85 ile %0,93 aralığına gerilediği tespit edilmiştir. Katkı oranının %10'a çıkarılması durumunda ise lif türüne bağlı belirgin bir davranış farklılığı ortaya çıkmıştır; cam lif (24GF) ve karbon lif (24CF) takviyeli kompozitler düşük su emme performanslarını koruyarak sırasıyla %0,86 ve %0,95 seviyelerinde kalırken, polipropilen lif (PPF) takviyeli numunelerin su emme oranı belirgin bir artışla %2,53 değerine ulaşmıştır. Düşük lif oranında (%2) matris içerisindeki gözeneklerin liflerle engellenmesi su geçirimsizliğini olumlu etkilerken, %10 gibi yüksek bir orana ulaşıldığında polipropilen liflerin matris içinde oluşturduğu arayüzey süreksizlikleri, birikmeler ve mikro kılcal kanallar su penetrasyonunu kolaylaştırmıştır; inorganik esaslı cam ve karbon lifler ise yüksek katkı oranlarında dahi matris ile olan düzenli yerleşimini koruyarak kompozit yapının düşük su emme kapasitesini sürdürmesini sağlamıştır.



ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Görsel 7. Lif çeşit ve oranının su emmeye etkisi

Perlit dolgulu hafif polimer kompozitlerin aşınma kaybı değerleri incelendiğinde (**Görsel 8**), lifsiz kontrol numunesinde 2,0 cm³/50cm² olarak ölçülen aşınma miktarının, lif türü ve kullanım oranına bağlı olarak zıt davranışlar sergilediği tespit edilmiştir. Düşük lif oranında (%2) tüm numuneler genel olarak aşınma direncini korumuş veya geliştirmiş olup aşınma kayıpları 1,5 ile 2,0 cm³/50cm² aralığında gerçekleşmiştir. Katkı oranının %10'a çıkarılmasıyla lif türlerinin etkisi belirginleşmiş; inorganik ve sert yapılı cam lif (24GF) ve karbon lif (24CF) takviyeli kompozitlerde aşınma miktarları sırasıyla yaklaşık 0 cm³/50cm² ve 1,0 cm³/50cm² seviyelerine gerileyerek malzemenin aşınma direncini üst seviyeye taşımıştır. Buna karşın, polipropilen lif (PPF) takviyeli numunelerde %10 katkı oranında aşınma kaybı keskin bir artış göstererek 5,0 cm³/50cm² değerine yükselmiştir. Cam ve karbon liflerin yüksek rijitliği ve matris yüzeyinde üstlendiği koruyucu zırh görevi sürtünme kaynaklı malzeme kaybını sınırlandırırken; polipropilen liflerin düşük yüzey sertliği, organik esnek yapısı ve yüksek oranlarda matristen kolay sökülmesi (pull-out etkisi) sürtünme esnasında yüzeyin daha hızlı tahrip olmasına ve aşınma kaybının artmasına sebebiyet vermiştir.



Görsel 8. Lif çeşit ve oranının aşınmaya etkisi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, döküm tipi polyester reçine bağlayıcılı, ham ve genleştirilmiş perlit dolgulu hafif polimer kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde lif türünün (polipropilen, cam ve karbon lif) ve kullanım oranlarının (%0, %2 ve %10) etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda ulaşılan temel sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

Üretilen tüm kompozitlerin birim ağırlıkları 0,73 ile 0,86 kg/dm³ aralığında gerçekleşmiştir. Tüm değerlerin 1,0 kg/dm^3 eşiğinin belirgin şekilde altında kalması, geliştirilen malzemenin "hafif kompozit" sınıflandırma kriterlerini başarıyla sağladığını göstermiştir. Yüksek özgül ağırlığı nedeniyle cam lif (24GF) birim ağırlığı en çok artıran takviye elemanı (0,83 –

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

$0{,}86$ kg/dm^3) olurken; karbon lif (24CF), yüksek mukavemetine rağmen kompozitin hafifliğini en iyi koruyan ($0{,}77 - 0{,}80$ kg/dm^3) lif türü olmuştur.

Kompozitlerin ultrases geçiş hızları 1,78 ile 1,91 km/sn aralığında tespit edilmiştir. Esnek yapılı polipropilen lifler (PPF) polyester matris ile sağladığı arayüzey uyumu sayesinde %10 kullanım oranında dahi kontrol numunesinin ses hızını ($1{,}91$ km/sn) korumuştur. Karbon lif takviyeli numunelerde ise artan lif oranına bağlı olarak matris içinde oluşan mikro hava boşlukları ve topaklanmalar nedeniyle ses hızı $1{,}78$ km/sn değerine kadar gerilemiştir.

Lifsiz kontrol numunesinde $29{,}6$ MPa olan eğilme dayanımı, lif ilavesiyle birlikte tüm gruplarda bir miktar gerileyerek 22,9 ile 27,4 MPa aralığında şekillenmiştir. Beklenenin aksine gerçekleşen bu düşüşün, %2 ve üzerindeki lif kullanım oranlarının matriste yol açtığı faz süreksizliği, yetersiz reçine ıslanması ve lif topaklanmalarından kaynaklandığı değerlendirilmiştir. Gelecek çalışmalarda matris süreksizliğinin önüne geçmek adına %2'nin altındaki daha düşük lif oranlarının (%0,25 – %1,5) denenmesi önerilmektedir.

Eğilmedeki gerilemenin aksine, lif takviyesi kompozitlerin basınç dayanımını belirgin şekilde geliştirmiş ve değerler 23,6 ile 31,0 MPa aralığına yükselmiştir. En yüksek basınç dayanımları %10 polipropilen ($31{,}0$ MPa) ve %10 karbon lif ($30{,}6$ MPa) katkılı numunelerde elde edilmiştir. Bu durum, basınç yükleri altında eksenel kuvvete bağlı olarak gelişen yanal genişlemenin, liflerin sağladığı yanal sargı (kısıtlama) etkisiyle engellenmesinden kaynaklanmaktadır.

Düşük lif oranında (%2) matris gözeneklerinin liflerle engellenmesi su emme oranlarını kontrol numunesine (%1,05) kıyasla düşürmüştür (%0,85–%0,93). Yüksek katkı oranında (%10) cam ve karbon lifli numuneler düşük su emme performansını korurken (%0,86 ve %0,95), polipropilen lifli numunelerin su emmesi arayüzey süreksizlikleri ve kılcal kanallar sebebiyle %2,53'e yükselmiştir.

İnorganik ve yüksek sertliğe sahip cam ve karbon lifler, matris yüzeyinde koruyucu bir zırh görevi üstlenerek %10 kullanım oranında aşınma kayıplarını belirgin şekilde azaltmış (0 ve $1{,}0$ cm^3/50cm^2) ve aşınma direncini artırmıştır. Polipropilen liflerde ise düşük yüzey sertliği ve lif sökülmeleri nedeniyle %10 katkıda aşınma kaybı $5{,}0$ cm^3/50cm^2 değerine yükselmiştir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında; karbon lif (24CF) takviyeli kompozitlerin düşük birim ağırlık, yüksek basınç dayanımı, yüksek aşınma direnci ve düşük su emme performansını bir arada sunarak en dengeli ve üstün karakterizasyonu sergilediği görülmüştür. Üretilen perlit dolgulu hafif polimer kompozitlerin; yapıda ölü yükün azaltılması gereken hafif bölme panelleri, aşınma direnci istenen hafif kaplama elemanları ve yüksek basınç yükü altındaki yapısal olmayan prefabrik elemanlarda kullanım potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

[1] Oladele, I. O., Omotosho, T. F., & Adediran, A. A. (2020). Polymer-based composites: an indispensable material for present and future applications. International Journal of Polymer Science, 2020(1), 8834518.

[2] Phiri, R., Rangappa, S. M., Siengchin, S., Oladijo, O. P., & Ozbakkaloglu, T. (2024). Advances in lightweight composite structures and manufacturing technologies: A comprehensive review. Heliyon, 10(21).

[3] Ramakrishnan, T., Mohan Gift, M. D., Chitradevi, S., Jegan, R., Hency Jose, P. S., Nagaraja, H. N., ... & Hailegiorgis, S. M. (2022). Study of numerous resins used in polymer matrix composite materials. Advances in Materials Science and Engineering, 2022(1), 1088926.

[4] Ramesh, M., Rajeshkumar, L. N., Srinivasan, N., Kumar, D. V., & Balaji, D. (2022). Influence of filler material on properties of fiber-reinforced polymer composites: a review. e-Polymers, 22(1), 898-916.

[5] Yeşilyurt, A., & Uysal, N. (2025). Evaluation of properties of polypropylene matrix composites reinforced with perlite, expanded perlite, silanized expanded perlite, and talc fillers. Journal of Applied Polymer Science, 142(44), e57695.

[6] De, B., Bera, M., Bhattacharjee, D., Ray, B. C., & Mukherjee, S. (2024). A comprehensive review on fiber-reinforced polymer composites: Raw materials to applications, recycling, and waste management. Progress in Materials Science, 146, 101326.

[7] Hossain, M. T., Shahid, M. A., Mahmud, N., Habib, A., Rana, M. M., Khan, S. A., & Hossain, M. D. (2024). Research and application of polypropylene: a review. Discover Nano, 19(1), 2.

[8] Begum, S., Fawzia, S., & Hashmi, M. S. J. (2020). Polymer matrix composite with natural and synthetic fibres. Advances in Materials and Processing Technologies, 6(3), 547-564.

[9] Saleem, A., Medina, L., Skrifvars, M., & Berglin, L. (2020). Hybrid polymer composites of bio-based bast fibers with glass, carbon and basalt fibers for automotive applications—a review. Molecules, 25(21), 4933.

[10] Liu, C., Sun, D., Liu, G., & Huang, Z. (2025). Effect of remelting post-processing on the impact strength of polypropylene parts printed by fused deposition modeling. Polymer Engineering & Science, 65(5), 2568-2581.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

[11] Pender, K., & Yang, L. (2023). Glass fibre composites recycling using the fluidised bed: A study into the economic viability in the UK. Clean Technologies and Recycling, 3(3), 221-240.

[12] Sayam, A., Rahman, A. M., Rahman, M. S., Smriti, S. A., Ahmed, F., Rabbi, M. F., ... & Faruque, M. O. (2022). A review on carbon fiber-reinforced hierarchical composites: mechanical performance, manufacturing process, structural applications and allied challenges. Carbon Letters, 32(5), 1173-1205.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

POMZA DOLGULU HAFİF POLİMER KOMPOZİTLERİN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE KARBON LİF BOYUNUN VE MİKTARININ ETKİSİ

Prof. Dr. MEHMET CANBAZ[1], Doç. Dr. SERHAT ÇELİKTEN[2]

[1]Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,

mcanbaz@ogu.edu.tr- 0000-0002-0175-6155

[2]Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,

scelikten@nevsehir.edu.tr - 0000-0001-8154-7590

ÖZET

Bu çalışmada, bağlayıcı matris olarak döküm tipi polyester reçine ve dolgu malzemesi olarak volkanik cam yapısındaki pomza kullanılarak hafif polimer kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Reçine sisteminde reaksiyonu başlatmak amacıyla sertleştirici olarak metil etil keton peroksit (MEKP), hızlandırıcı olarak ise kobalt oktoat tercih edilmiştir. Estetik veya görsel ayırt edilebilirlik sağlamak adına karışıma, toplam bileşen miktarının %1'i oranında toz pigmentler (siyah, kahverengi, sarı, kırmızı ve yeşil) ilave edilmiştir.

Kompozit yapının mekanik performansını artırmak amacıyla takviye elemanı olarak sürekli karbon lifler kullanılmış; söz konusu lifler 12 mm ve 24 mm uzunluklarında kesilerek matris içerisine dahil edilmiştir. Hızlandırıcı ve sertleştirici eklenmiş reçineye dolgu maddesi, lif ve pigment ilave edilerek homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırma işlemi sürdürülmüştür. Hazırlanan taze karışımdan 4x4x16 cm boyutlarında prizmatik ve 5x5x5 cm boyutlarında küp numuneler dökülmüştür.

Sertleşen kompozit numuneler üzerinde birim ağırlık, su emme, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar kapsamında; karbon lif uzunluğunun (12 mm ve 24 mm) ve lif kullanım miktarının, pomza dolgulu hafif polimer kompozitlerin fiziksel ve mekanik (eğilme ve basınç dayanımı) özellikleri üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polimer kompozit, Pomza, Karbon lifi, Lif uzunluğu, Mekanik özellikler, Fiziksel özellikler**.**

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

INFLUENCE OF CARBON FIBER LENGTH AND AMOUNT ON THE MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF PUMICE-FILLED LIGHTWEİGHT POLYMER COMPOSITES

ABSTRACT

In this study, lightweight polymer composite materials were produced using casting-type polyester resin as the binding matrix and pumice, a volcanic glass-structured material, as the filler. Methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) was utilized as the hardener and cobalt octoate as the accelerator to initiate the curing reaction in the resin system. For aesthetic purposes, powder pigments (black, brown, yellow, red, and green) were added at a ratio of 1% relative to the total weight of the components.

To enhance the mechanical performance of the composite structure, continuous carbon fibers cut into lengths of 12 mm and 24 mm were employed as reinforcement elements. The filler, fibers, and pigments were incorporated into the accelerated and hardened resin mixture, and mixing was continued until a homogeneous slurry was achieved. From this mixture, 4x4x16 cm prismatic and 5x5x5 cm cubic specimens were cast.

The hardened composite specimens were subjected to unit weight, ultrasonic pulse velocity, water absorption, flexural strength, and compressive strength tests. Within the scope of the experimental investigation, the effects of carbon fiber length (12 mm and 24 mm) and fiber content on the physical and mechanical (flexural and compressive strength) properties of the pumice-filled lightweight polymer composites were evaluated in detail.

Keywords: Polymer composite, Pumice, Carbon fiber, Fiber length, Mechanical properties, Physical properties.

1. GİRİŞ

Polimer kompozit malzemeler; yüksek özgül mukavemetleri, korozyon dirençleri, hafiflikleri ve tasarım esneklikleri sayesinde inşaat, otomotiv, havacılık ve imalat sanayi gibi pek çok sektörde yaygın kullanım alanı bulmaktadır [1]. Yapı sektöründe enerji verimliliği ve deprem güvenliği önceliklerinin artmasıyla birlikte, yapı elemanlarının ölü yüklerini azaltan hafif kompozit malzemelerin geliştirilmesi kritik bir araştırma konusu haline gelmiştir [2]. Polimer matrisli sistemlerde düşük yoğunluklu ve doğal gözenekli dolgu maddelerinin kullanımı, kompozit malzemelerin hafifletilmesinde son derece etkili bir yöntemdir [3]. Bu kapsamda,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

asidik veya bazik volkanik faaliyetler sonucu oluşan ve yüksek SiO_2 içeriğine sahip gözenekli bir volkanik cam yapısındaki pomza, düşük birim ağırlığı ve uygun maliyetiyle öne çıkan bir dolgu malzemesidir.

Bununla birlikte, dolgu katkılı polimer matrislerin gevrekleşme eğilimini kırmak, çekme ve eğilme dayanımları gibi mekanik performans parametrelerini iyileştirmek amacıyla yapıya lif takviyesi yapılması gerekmektedir [4]. Karbon lifler; yüksek çekme modülü, elastisite, düşük yoğunluk ve üstün mekanik özellikleriyle polimer kompozitlerin güçlendirilmesinde yaygın olarak tercih edilmektedir [5]. Kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel davranışında, kullanılan lifin türü ve miktarının yanı sıra lif geometrisi (uzunluğu) da matris içi gerilme aktarımı, çatlak ilerleme direnci ve arayüzey bağ dayanımı açısından belirleyici bir rol oynamaktadır [6].

Bu çalışmada, döküm tipi polyester reçine matrisli ve pomza dolgulu hafif polimer kompozitlerin fiziksel (birim ağırlık ve su emme) ve mekanik (eğilm ve basınç dayanım) özellikleri üzerindeki karbon lif uzunluğunun (12 mm ve 24 mm) ve lif kullanım oranının (%0, %2, %10) etkileri sistematik olarak araştırılmıştır. Elde edilen bulgularla, kullanım alanına ve ihtiyaç duyulan yükleme tipine göre ideal lif uzunluğu ve oranının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Hafif polimer kompozit malzeme üretiminde ana bağlayıcı matris olarak döküm tipi polyester reçine tercih edilmiştir; kullanılan reçinenin viskozite, özgül ağırlık, çekme ve eğilme dayanımı gibi fiziksel ve mekanik parametreleri **Çizelge 1**'de sunulmuştur. Polimer matrisin polimerizasyon ve reaksiyon sürecini başlatıp kontrol altında tutabilmek amacıyla sertleştirici olarak metil etil keton peroksit, hızlandırıcı olarak ise kobalt oktoat sisteme dahil edilmiştir. Numunelerde renk varyasyonu ve estetik çeşitlilik sağlamak amacıyla karışıma %1 oranında siyah, kahverengi, sarı, kırmızı ve yeşil toz pigmentler eklenmiştir. Kompozitin birim ağırlığını düşürmek ve dolgu matriks dengesini sağlamak amacıyla kullanılan, gözenekli volkanik cam yapısındaki pomzanın yüksek SiO_2 oranı ve 0,44 kg/dm³ birim ağırlık gibi temel kimyasal ile fiziksel özellikleri **Çizelge 2'**de detaylandırılmıştır. Kompozit yapının çekme ve eğilme dayanımı başta olmak üzere mekanik performansını artırmak amacıyla takviye elemanı olarak kullanılan sürekli karbon liflerin çekme modülü, yoğunluk ve birim şekil değiştirme gibi kritik değerleri **Çizelge 3**'te verilmiş olup; bu lifler sürtünme ve yük aktarım mekanizmasını

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

iyileştirmek üzere 12 mm ve 24 mm boyutlarında kesilerek matris içerisine homojen şekilde dağıtılmıştır.Kullanılan malzemeler **Görsel 1**'de verilmiştir.



Görsel 1. Kullanılan karbon lifleri ve pomza

Çizelge 1. Bağlayıcı malzemenin özellikleri

Viskozite Cps	Stiren Ratio, %	Asit, MgKOH/g	Ekzotermik Isı, °C	Özgül Ağırlık	Jelleşme Süresi (dakika)	Çekme Dayanımı, MPa	Eğilme Dayanımı, MPa	Barcol Sertliği
350-450	38-40	18-24	175	1.1-1.11	10-15	50-60	85-95	40 – 42

Çizelge 2. Filler malzemelerin özellikleri

Dolgu Malzemesi	SiO_2, %	Al_2O_3, %	Fe_2O_3, %	MgO, %	Birim Ağırlık, kg/dm^3
Pomza	70	14	2.5	0.6	0.44

Çizelge 3. Fiberin özellikleri

Çekme Dayanımı, Mpa	Çekme Modülü, Gpa	Birim Şekil Değiştirme, %	Yoğunluk, g/cm^3	Yield,gr/1000m
240	4200	1,8	1,78	800

Deneysel çalışma kapsamında kompozit numunelerin dökümü öncesinde; polyester reçine matrisine reçine kütlesinin %1'i oranında hızlandırıcı (kobalt oktoat) ve %1'i oranında sertleştirici (MEKP) ilave edilerek matris kimyasal reaksiyona hazır hale getirilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Hazırlanan reçine karışımına pomza dolgu malzemesi, belirlenen boyutlarda kesilmiş karbon lifler ve renk kodlaması sağlamak amacıyla %1 oranında toz pigment eklenerek, bileşenlerin matris içerisinde topaklanma yapmadan eşit dağılmasını sağlamak adına homojen bir kıvam elde edilinceye kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Kompozitlerin üretiminde esas alınan kütlesel karışım oranları **Çizelge 4'**te sunulmuştur. Çizelge 4 incelendiğinde; pomza/reçine kütlesel oranı 0,82 olarak sabit tutulurken, lif takviyesinin kompozit davranışına etkisini detaylı inceleyebilmek amacıyla lif/reçine oranı kütlesel bazda %0 (referans), %2 ve %10 olmak üzere üç farklı seviyede seçilmiştir. Üretim ve numuneler **Görsel 2**'de verilişti r. Hazırlanan taze kompozit harçtan eğilme dayanımı tayinlerinde kullanılmak üzere 4x4x16 cm boyutlarında prizmatik, basınç dayanımı, birim ağırlık, su emme testlerinde kullanılmak üzere ise 5x5x5 cm boyutlarında küp kalıplara döküm yapılarak numuneler elde edilmiştir. Kürlenme sürecini tamamlayan numuneler üzerinde birim ağırlık, su emme, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanım testi **Görsel 3**'te gösterilmiştir. Yapılan bu deneysel süreç ile farklı lif uzunluklarının (12 mm ve 24 mm) ve farklı lif kullanım miktarlarının (%0, %2 ve %10) geliştirilen hafif polimer kompozitlerin fiziksel, mikroyapısal ve mekanik performansı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

Çizelge 4. Kompozitlerin karışım oranları

Pomza / Reçine	Lif / Reçine	Hızlandırıcı / Reçine	Sertleştirici / Reçine
0.82	0-2-10 %	1 %	1 %



Görsel 2. Üretim ve numuneler

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



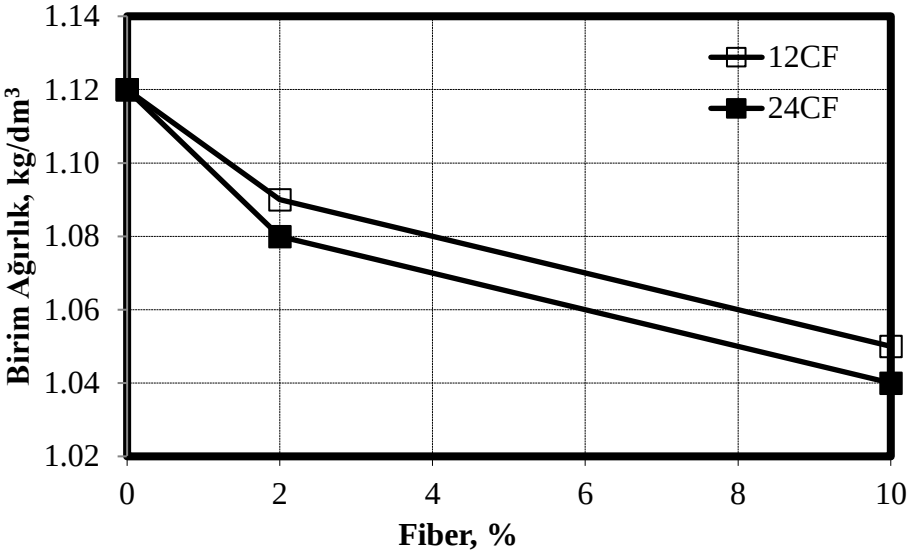
Görsel 3. Eğilme testi ve kırılan numune kesidi

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Geliştirilen pomza dolgulu polimer kompozitlerin birim ağırlık değerlerine lif oranı ve uzunluğunun etkisi **Görsel 4**'te görülmektedir. Lif içermeyen kontrol numunesinin birim ağırlığı, kullanılan pomzanın düşük özgül ağırlığı sayesinde lif katkısı olmadan dahi oldukça düşük seviyede kalarak malzemenin hafif kompozit sınıfında yer almasını sağlamıştır. Bu durum; yapılara binen ölü yüklerin azaltılması, taşıma ve montaj kolaylığı ile yalıtım performansının artırılması açısından önemli bir avantaj sunmaktadır.

Karışımlara karbon lif eklenmesiyle birim ağırlıklarda kademeli bir düşüş kaydedilmiştir. Lif oranının artırılmasıyla hem 12 mm (12CF) hem de 24 mm (24CF) serilerinde birim ağırlıklar sistematik olarak azalmıştır. Bu düşüş, lif ilavesinin taze harcın işlenebilirliğini azaltarak lif-matris arayüzeyinde mikro hava boşluklarının oluşmasına yol açmasından kaynaklanmaktadır. Lif uzunluğu kıyaslandığında ise aynı kullanım oranlarında uzun liflerin (24CF) birim ağırlığı daha da düşürdüğü tespit edilmiştir. Uzun liflerin matris içinde ağ yapısı oluşturarak döküm esnasında sıkışmayı zorlaştırması ve bünyede daha fazla boşluk bırakması bu sonucun temel nedenidir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 4. Lif çeşit ve oranının birim ağırlığa etkisi

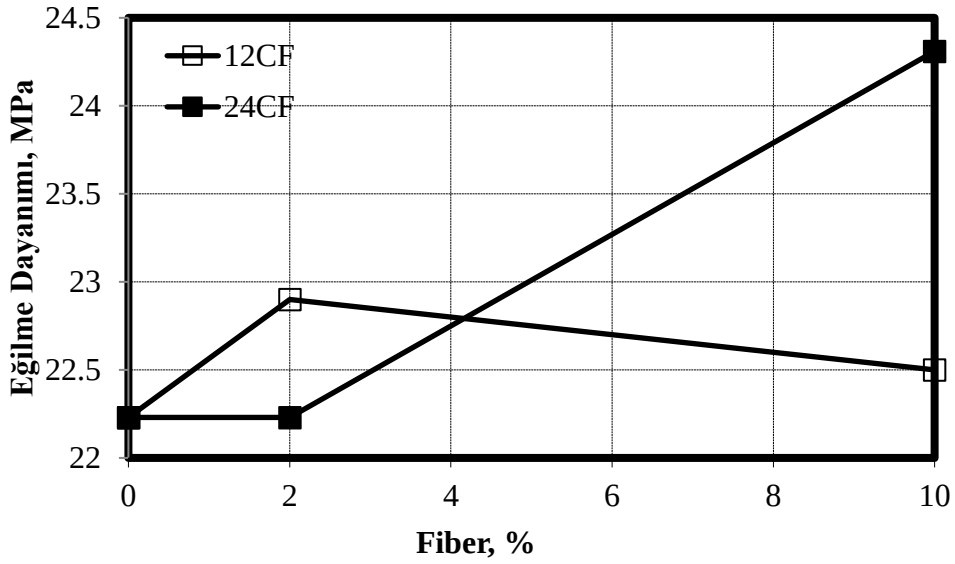
Pomza dolgulu kompozitlerin eğilme dayanımı sonuçları incelendiğinde **(Görsel 5)**, lif uzunluğu ve oranının eğilme performansı üzerinde belirleyici olduğu görülmektedir. Kısa lif takviyeli numunelerde (12CF), %2 kullanım oranında matris içi gerilme aktarımının iyileşmesiyle eğilme dayanımında bir artış elde edilmiş; ancak %10 oranına çıkıldığında lif topaklanması ve artan mikro boşluklar sebebiyle dayanım yeniden gerilemiştir. Uzun liflerde (24CF) ise %2 oranında belirgin bir değişim yaşanmazken, %10 katkı seviyesinde çatlak köprüleme mekanizmasının son derece etkili çalışması sayesinde tüm gruplar arasındaki en yüksek eğilme dayanımı değerine ulaşılmıştır.

Kompozit numunelerin basınç dayanımı değerleri değerlendirildiğinde **(Görsel 6)**, eğilme dayanımının aksine kısa liflerin (12CF) basınç performansında daha efektif olduğu tespit edilmiştir. %2 oranında 12CF kullanımı, matris içerisinde homojen dağılım göstermesi ve yapıda ilave boşluk birikimine yol açmaması sayesinde en yüksek basınç dayanımını sunmuştur. Buna karşın uzun lifler (24CF), matris içerisinde oluşturduğu yerel süreksizlikler ve iç boşluklar sebebiyle %2 oranında basınç dayanımında geçici bir düşüşe sebep olmuş, %10 oranında ise oluşan lif ağının gerilmeleri karşılamasıyla yeniden kontrol numunesi seviyelerine yaklaşmıştır.

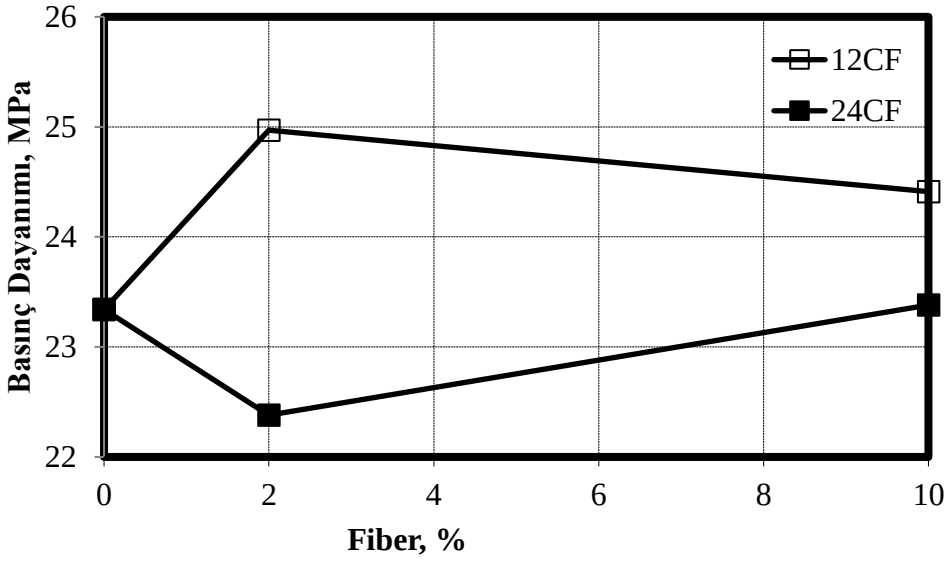
Eğilme ve basınç dayanımı sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, uygulanan yükleme türünün ve lif geometrisinin kompozit mekaniği üzerindeki farklı etkileri açıkça ortaya çıkmaktadır. Çekme gerilmelerinin ve çatlak ilerlemesinin hakim olduğu eğilme yüklemelerinde, yüksek

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

orandaki uzun lifler (%10 24CF) matris içinde sürekli bir köprüleme ağı kurarak en yüksek dayanımı sağlamaktadır. Matrisin ezilme direncine dayanan basınç yüklemelerinde ise uzun liflerin yarattığı mikro boşluk birikimi olumsuz sonuç verirken, homojen dağılabilen kısa lifler (%2 12CF) matriks yapısını bozmadan optimum basınç performansına ulaşmaktadır.



Görsel 5. Lif çeşit ve oranının eğilme dayanımına etkisi

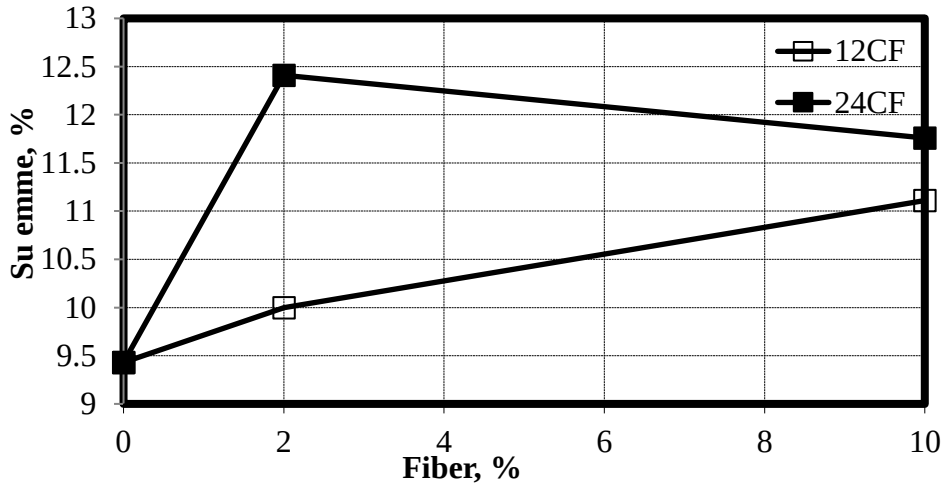


Görsel 6. Lif çeşit ve oranının basınç dayanımına etkisi

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Geliştirilen pomza dolgulu polimer kompozitlerin su emme oranları üzerindeki lif oranı ve uzunluğunun etkisi **Görsel 7**'de sunulmuştur. Görsel 4 incelendiğinde, lif katkısız kontrol numunesinin en düşük su emme oranına sahip olduğu, matris içerisine karbon lif dahil edilmesiyle birlikte su emme değerlerinin genel olarak artış gösterdiği görülmektedir. Kısa lif takviyeli (12CF) numunelerde lif oranının %2 ve %10 seviyelerine çıkarılmasıyla su emme oranlarında kademeli ve lineer bir artış kaydedilmiştir. Bu durum, matrise eklenen lif miktarının artmasıyla lif-matris arayüzeyinde oluşan mikro kılcal boşlukların ve arayüzey süreksizliklerinin suyun bünyeye emilimini kolaylaştırmasından kaynaklanmaktadır.

Uzun lif takviyeli (24CF) numunelerde ise %2 lif kullanımında su emme oranında keskin bir sıçrama yaşanarak en yüksek değere ulaşılmış, lif oranının %10'a çıkarılmasıyla bu değer bir miktar gerilese de kontrol ve 12CF numunelerinin üzerinde kalmaya devam etmiştir. Uzun liflerin matris içinde oluşturduğu ağ yapısı ve topaklanma eğilimi, özellikle düşük oranlarda taze harçta hava hapsine ve daha büyük kılcal boşluk oluşumuna yol açarak su penetrasyonunu artırmıştır. %10 24CF kullanımında gözlenen hafif düşüş ise sıklaşan lif ağının matris içindeki sürekliliği sayesinde mikro kılcal kanalları kısmen bloke etmesiyle açıklanabilmektedir. Genel olarak, lif boyu uzadıkça arayüzey alanının ve boşluk oluşum riskinin artması sebebiyle 24CF serisi numuneler 12CF serisine kıyasla daha yüksek su emme değerleri sergilemiştir.



Görsel 7. Lif çeşit ve oranının su emmeye etkisi

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, döküm tipi polyester reçine matrisli ve pomza dolgulu hafif polimer kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde karbon lif uzunluğunun (12 mm ve 24 mm) ve lif miktarının (%0, %2, %10) etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda ulaşılan temel sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Pomza dolgusunun düşük özgül ağırlığı sayesinde tüm numuneler hafif kompozit sınıfında yer almıştır. Karbon lif ilavesi taze harcın işlenebilirliğini düşürüp matris içinde mikro hava boşlukları oluşturduğu için birim ağırlığı kademeli olarak azaltmıştır. Ağ yapısı oluşturmaya ve boşluk bırakmaya daha yatkın olan uzun lifler (24CF), birim ağırlığı kısa liflere (12CF) kıyasla daha fazla düşürmüştür.
- Çatlak köprüleme mekanizmasının etkili şekilde çalışması sayesinde, en yüksek eğilme dayanımı %10 oranında uzun lif (%10 24CF) içeren kompozitlerde elde edilmiştir. Kısa liflerde ise %2'den sonra gözlenen topaklanma ve boşluk birikimi eğilme performansını olumsuz etkilemiştir.
- Basınç yükleri altında en yüksek dayanım, matris içerisinde homojen dağılım gösteren ve yapıda ilave boşluk oluşturmayan %2 kısa lif (%2 12CF) takviyesiyle sağlanmıştır. Uzun lifler ise yapıda oluşturduğu süreksizlikler nedeniyle düşük oranlarda basınç performansını düşürmüştür.
- En düşük su emme değeri lif katkısız kontrol numunesinde elde edilmiştir. Lif ilavesi ve lif boyunun uzaması, matris-lif arayüzeyinde kılcal boşluklar oluşturduğu için su emme oranlarını artırmıştır. Döküm esnasında daha fazla hava hapsine yol açan uzun lifli (24CF) numuneler, kısa lifli (12CF) serilere göre daha yüksek su emme davranımı sergilemiştir.

Özetle; çalışma sonuçları lif uzunluğu ve miktarının kullanım amacına göre optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Yüksek eğilme dayanımı ve daha düşük birim ağırlık hedeflenen uygulamalarda %10 oranında 24 mm lif (24CF) kullanımı öne çıkarken; yüksek basınç dayanımı ve düşük su emme istenen durumlarda %2 oranında 12 mm lif (12CF) kullanımı optimum kombinasyonu sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

1. Oladele, I. O., Omotosho, T. F., & Adediran, A. A. (2020). Polymer-based composites: an indispensable material for present and future applications. International Journal of Polymer Science, 2020(1), 8834518.

2. Zaman, A., Gutub, S. A., & Wafa, M. A. (2013). A review on FRP composites applications and durability concerns in the construction sector. Journal of reinforced plastics and composites, 32(24), 1966-1988.

3. Phiri, R., Rangappa, S. M., Siengchin, S., Oladijo, O. P., & Ozbakkaloglu, T. (2024). Advances in lightweight composite structures and manufacturing technologies: A comprehensive review. Heliyon, 10(21).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

4. Ku, H., Wang, H., Pattarachaiyakoop, N., & Trada, M. (2011). A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. Composites Part B: Engineering, 42(4), 856-873.

5. Zheng, H., Zhang, W., Li, B., Zhu, J., Wang, C., Song, G., ... & Ma, L. (2022). Recent advances of interphases in carbon fiber-reinforced polymer composites: A review. Composites Part B: Engineering, 233, 109639.

6. Fu, S. Y., & Lauke, B. (1996). Effects of fiber length and fiber orientation distributions on the tensile strength of short-fiber-reinforced polymers. Composites Science and Technology, 56(10), 1179-1190.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

YANGIN GECİKTİRİCİ KATKILI ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİN BELİRLİ MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Doç. Dr. İLKAY ATAR
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,
İlkayatar53@gmail.com - ORCID:0000-0001-9527-1791

Dr. BÜŞRA AVCI
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,
busraavci@yahoo.com.tr - ORCID:0000-0003-1710-2778

Prof. Dr. FATİH MENGELOĞLU
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,
fmengelo@gmail.com - ORCID:0000-0002-2614-3662

ÖZET

Bu çalışmada, kızılçam odun unu dolgulu yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) esaslı odun-plastik kompozitlerin (OPK) mekanik, fiziksel ve yangın özellikleri üzerine borik asit (BA) ve amonyum polifosfatın (APP) etkileri araştırılmıştır. Kompozitlerin üretiminde matris malzemesi olarak YYPE, doğal dolgu maddesi olarak 40 mesh kızılçam odun unu ve matris-dolgu ara yüzey uyumunu geliştirmek amacıyla %3 maleik anhidrit graftlı polietilen (MAPE) kullanılmıştır. Kızılçam odun unu oranı tüm gruplarda %30 olarak sabit tutulmuş, BA ve APP ise %5 ve %10 oranlarında kullanılmıştır. Test örnekleri tek vidalı ekstruder ve enjeksiyon kalıplama yöntemiyle gerçekleşmiştir. Mekanik özellikler açısından, yangın geciktirici ilavesinin kompozitlerin özellikleri üzerinde farklı etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. En yüksek çekme direnci özellikleri katkısız grupta elde edilirken, en yüksek eğilme direnci özellikleri %10 APP ilavesiyle elde edilmiştir. BA oranının artırılması mekanik özellikleri olumsuz etkilerken, APP ilavesinin özellikle eğilme direncini iyileştirdiği görülmüştür. Bu sonuçlar, APP'nin kızılçam odun unu dolgulu YYPE esaslı OPK'lerin mekanik özelliklerinde BA'ya kıyasla daha olumlu bir etki oluşturduğunu göstermektedir. Tutuşma ve yanma sürelerinin yangın geciktirici katkıların ilavesiyle uzamıştır. En uzun tutuşma ve yanma süresi %10 APP içeren PE-A10 grubunda elde edilmiş olup, APP ilavesinin özellikle yüksek oranda kullanıldığında yangın geciktirme performansını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Anahtar Kelimeler: Kızılçam odun unu, YYPE, MAPE, borik asit, amonyum polifosfat, yangın geciktirici, odun-plastik kompozit.

INVESTIGATION OF SELECTED MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF FLAME-RETARDANT WOOD-PLASTIC COMPOSITES

ABSTRACT

In this study, the effects of boric acid (BA) and ammonium polyphosphate (APP) on the mechanical, physical, and fire properties of high-density polyethylene (HDPE)-based wood-plastic composites (WPCs) filled with red pine wood flour were investigated. HDPE was used as the matrix material, 40-mesh red pine wood flour as the natural filler, and 3% maleic anhydride-grafted polyethylene (MAPE) was incorporated to improve the interfacial compatibility between the matrix and filler. The red pine wood flour content was kept constant at 30% in all groups, while BA and APP were incorporated at concentrations of 5% and 10%. The test specimens were manufactured using a single-screw extruder and an injection molding process.

In terms of mechanical properties, it was determined that the incorporation of flame-retardant additives had different effects on the properties of the composites. The highest tensile strength was obtained in the control group without additives, whereas the highest flexural strength was achieved with the addition of 10% APP. Increasing the BA content adversely affected the mechanical properties, while the addition of APP, particularly, improved the flexural strength. These results indicate that APP has a more favorable effect than BA on the mechanical properties of red pine wood flour-filled HDPE-based WPCs.

The ignition and burning durations increased with the incorporation of flame-retardant additives. The longest ignition and burning durations were obtained for the PE-A10 group containing 10% APP. These findings demonstrate that the incorporation of APP, particularly at a higher concentration, positively affects the flame-retardant performance of the composites.

Keywords: Red pine wood flour, HDPE, MAPE, boric acid, ammonium polyphosphate, flame retardant, wood-plastic composites.

1. GİRİŞ

Lignoselülozik (lignin ve selüloz içeren) malzemelerin polimer matris içerisine ilave edilerek üretilmesiyle elde edilen, geleneksel ahşap ürünlerinin yerine alternatif olarak değerlendirilen malzemeler odun plastik kompozitler olarak adlandırılmaktadır. Alternatifi olduğu malzemelerin kullanım yerlerindeki dezavantajları (mantar, böcek arzı, şişmesi vb.) sebebiyle birçok kullanım yerinde tercih edilmektedir (Avcı vd., 2025). Bu malzemeler; bahçe mobilyaları, dış mekân döşemeleri, çitler, cephe kaplamaları, pencere ve kapı profilleri, park bankları ve peyzaj elemanları gibi yapı ve dış mekân uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca otomotiv sektöründe iç kaplama üretiminde ve mobilya sektöründe de

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

kullanım alanı bulmaktadır (Klyosov, 2007; Xu vd., 2021; Mitaľová vd., 2024). Odun plastik kompozitlerin rutubet ve biyolojik bozunmaya karşı gösterdikleri direnç, üretimlerinde lifsel atıkların değerlendirilebilmesine olanak sağlamaları, bu malzemelerin kullanımını destekleyen başlıca özellikler arasında yer almaktadır.

Bununla birlikte, kullanım alanına uygun mekanik özellikleri ve yangın güvenliğinin sağlanması, özellikle yapı uygulamalarında önem taşımaktadır. OPK'lerin yangın performansını iyileştirmek amacıyla fosfor, azot, bor ve mineral esaslı çeşitli yangın geciktirici katkılar kullanılmaktadır. Bu katkılar arasında bor bileşikleri ve amonyum polifosfat (APP) öne çıkmaktadır. Borik asit (BA), yanma sırasında koruyucu kömür tabakasının oluşumunu destekleyebilirken APP, fosfor ve azot içeriği sayesinde yanmayı sınırlandıran koruyucu bir tabakanın oluşmasına katkıda bulunabilmektedir. Ancak bu katkıların kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri, katkı türüne ve oranına bağlı olarak değişebilmektedir (Kurt ve Mengeloğlu, 2011; Kumar vd., 2022). Bu çalışmanın amacı, kızılçam odun unu dolgulu YYPE esaslı odun-plastik kompozitlerde borik asit (BA) ve amonyum polifosfat (APP) kullanımının yangın geciktirici etkisini belirlemek ve bu katkıların mekanik ve fiziksel özellikler üzerindeki etkilerini incelemektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Bu çalışmada; matris malzemesi olarak yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), doğal dolgu maddesi olarak kızılçam odun unu, uyumlaştırıcı ajan olarak maleik anhidrit graftlı polietilen (MAPE) kullanılmıştır. Yangın geciktirici katkı maddeleri olarak borik asit (BA) ve amonyum polifosfat (APP) kullanılmıştır.

Kompozit üretiminde kullanılan Polietilen PETKİM Petrokimyadan, kızılçam odun unu Kahramanmaraş il merkezinde bulunan marangoz atölyesinden, Borik asit Akbel, amonyum polifosfat Ataman kimya, firmasından temin edilmiştir.

2.2. Metot

Altı farklı kombinasyonda kompozit üretilmiştir.

Çizelge 1. Üretim reçetesi

Grup	Kızılçam odun unu %	YYPE %	Borik Asit %	APP%	MAPE %
Kontrol (PE)	0	97	0	0	3
PE-O	30	67	0	0	3
PE-B5	30	62	5	0	3
PE-B10	30	57	10	0	3

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

PE-A5	30	62	0	5	3
PE-A10	30	57	0	10	3

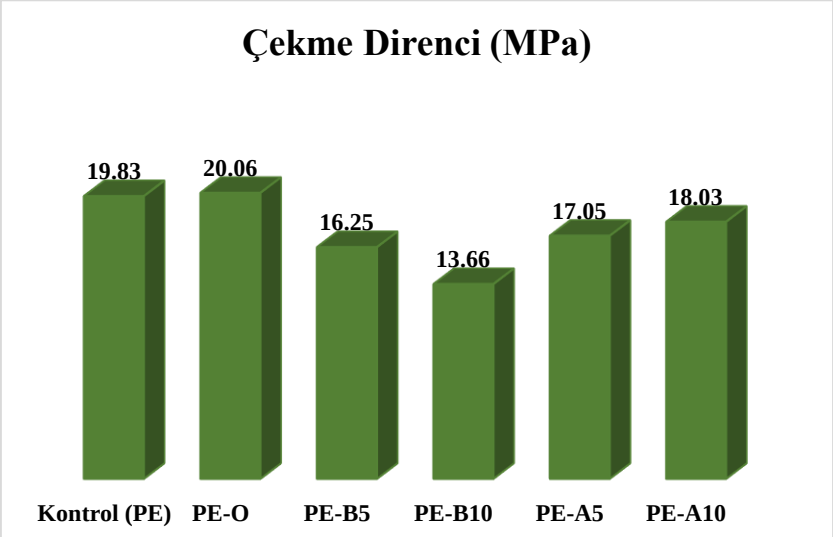
PE: %97 YYPE + %3 MAPPE
PE-O: %67 YYPE + %30 Kızılçam odun unu +%3 MAPPE
PE-B5: %62 YYPE + %30 Kızılçam odun unu +%5 BA + %3 MAPPE
PE-B10: %57 YYPE + %30 Kızılçam odun unu +%10 BA+ %3 MAPPE
PE-A5: %62 YYPE + %30 Kızılçam odun unu +%5 APP + %3 MAPPE
PE-A10: %57 YYPE + %30 Kızılçam odun unu +%10 APP+ %3 MAPPE

Dolgu maddesi olarak kızılçam odun unları sarsak elekte elenerek 40 mesh üzerinde kalan kısımlar kullanılmıştır. Elenen kızılçam odun unları 24 saat boyunca 103 °C (± 2) etüvde kurutulmuştur. Üretim reçetesine bağlı olarak karışımlar hazırlanmıştır (Çizelge 1.). Elde edilen karışımlar tek vidalı ekstruder kullanılarak üretilmiştir (Ekstruder sıcaklığı: 180, 185, 190, 195, 200 ºC, vida hızı: 40rpm)). Ekstruderden geçirilen örnekler soğuk su (23 °C ±2) içerisine küçük parçalar halinde kesilerek soğutulmuş ve kırıcıda ufalandıktan sonra boncuk haline getirilmiştir. Boncuklar, 24 saat boyunca 103 °C (± 2) etüvde kurutulmuştur. Kurutulan boncuklardan enjeksiyon kalıplama makinasıyla (enjeksiyon sıcaklığı: 180, 185, 190, 190 ºC) test örnekleri oluşturulmuştur. Üretilen test örneklerinin çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, darbe direnci, yoğunluk ve doğrusal yanma hızı testleri sırasıyla ASTM D638, ASTM D790, ASTM D256, ASTM D792, ASTM D635 standartlarına göre yapılmıştır. Çekme direnci testleri için ise test hızı 5 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Eğilme direnci testleri esnasında dayanaklar arasındaki açıklık 80 mm ve test hızı 2 mm/dak olarak ayarlanmıştır. Çekme direnci ve eğilme direnci testleri Zwick/Roell Z010 Universal test makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Darbe direnci test örneklerine başlanmadan Polyest Rayran çentik açma makinesi ile tam orta kısmından çentik açılmıştır. Çentik açılan test örneklerinin Darbe direnci Zwick/Roell HIT 5.5P makinesinde belirlenmiştir. Yoğunluk terazisi ile Arşimet'in yoğunluk belirleme ilkesine dayanarak ölçümler yapılmıştır. Elde edilen dataların SPSS programı (IBM SPSS 20.0) kullanılarak istatistik analizleri yapılmıştır. Örnek kombinasyonlarının fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla ANOVA basit varyans analizi uygulanmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

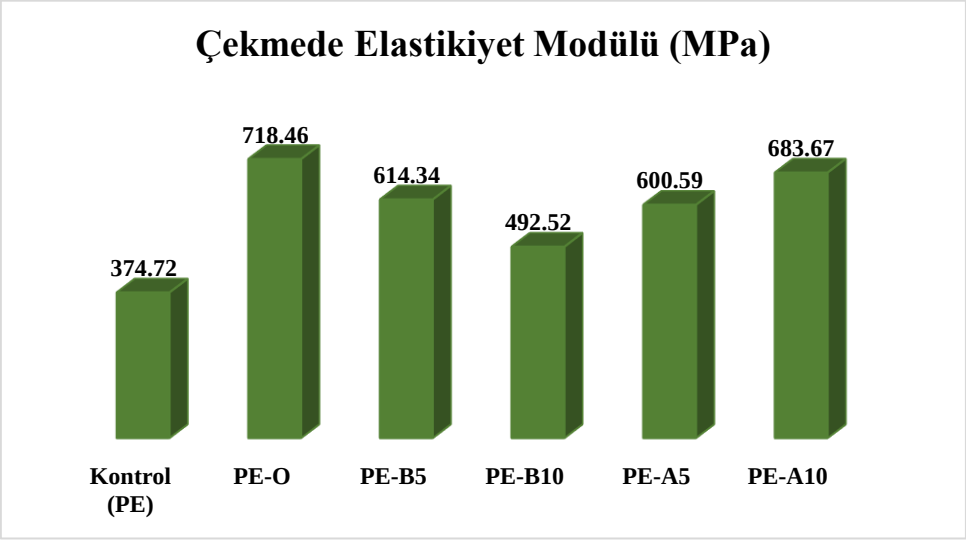
YYPE içerisine %30 oranında kızılçam odun unu ve farklı oranlarda (%5 ve %10) borik asit ve amonyum polifosfat ilave edilerek odun-plastik kompozitler üretilmiştir. Üretilen örneklerin mekanik (çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, darbe direnci), fiziksel (yoğunluk) özellikleri ve yanma belirlenmiştir. Her test için 5 örnek test edilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 1. Örnek Gruplarının Çekme Direnci Değerini Gösteren Bar Grafiği

Görsel 1'de örnek gruplarının çekme direnci değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, çekme direnci değerinin en düşük 13,66 MPa ile PE-B10 grubunda, en yüksek ise 20,06 MPa ile PE-O grubunda olduğu görülmektedir. Yangın geciktirici tipi ve oranının test örneklerinin çekme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($p< 0,001$ ve $p=0,019<0.05$). Odun unu ilavesinin kompozitlerin çekme direncini artırdığı, ancak yangın geciktirici katkıların kullanılmasıyla çekme direncinde azalma meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, yangın geciktirici katkıların polimer matris ile odun unu arasındaki ara yüzey etkileşimini ve yük transferini olumsuz yönde etkilemesiyle açıklanabilir (Zhang vd., 2018).

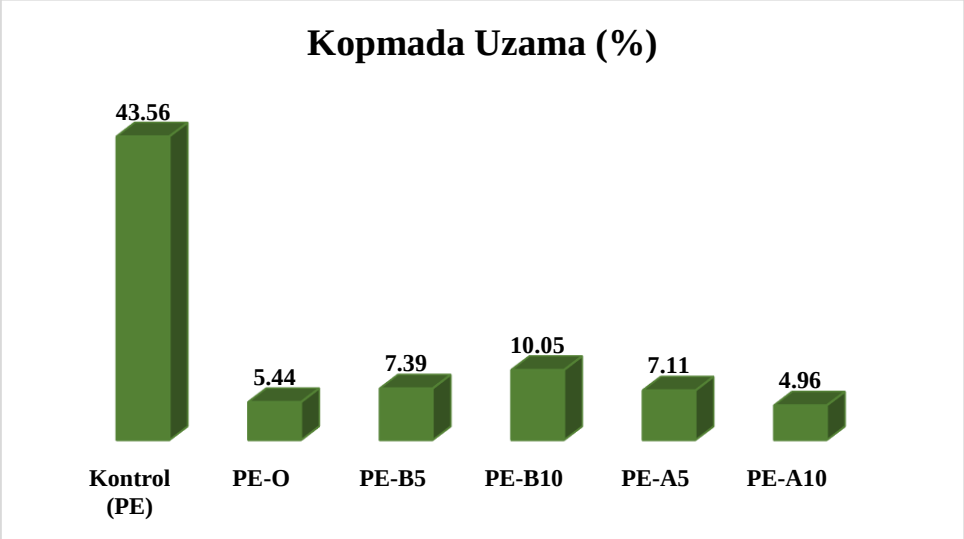


Görsel 2. Örnek Gruplarının Çekmede Elastikiyet Modülü Değerini Gösteren Bar Grafiği

Görsel 2'de örnek gruplarının çekmede elastikiyet modülü değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Çekmede elastikiyet modülü grafiği incelendiğinde, en düşük değerin 374,72 MPa

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

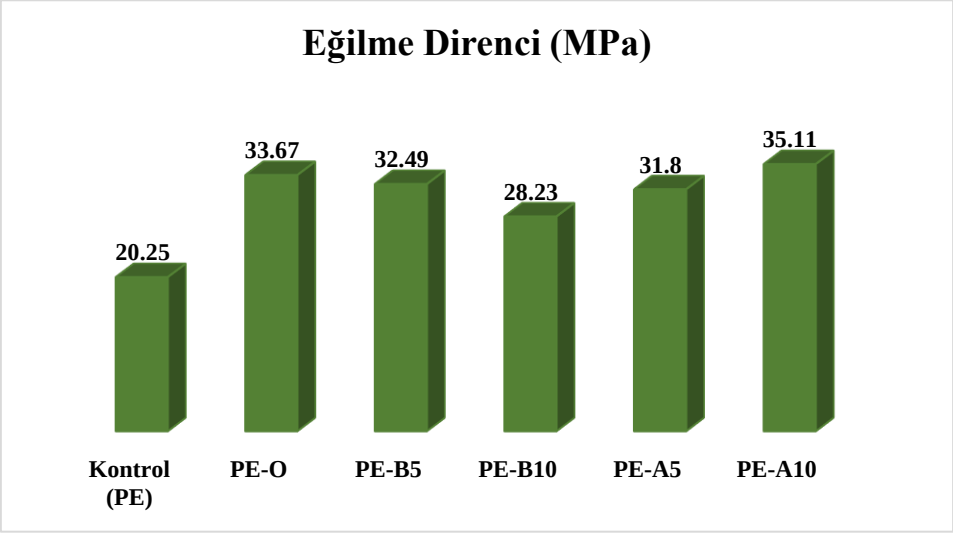
ile PE grubunda, en yüksek değerin ise 718,46 MPa ile PE-O grubunda elde edildiği görülmektedir. Yangın geciktirici tipi ve oranının test örneklerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($p< 0,001$ ve $p=0,028<0.05$).



Görsel 3. Örnek Gruplarının Kopmada Uzama Değerini Gösteren Bar Grafiği

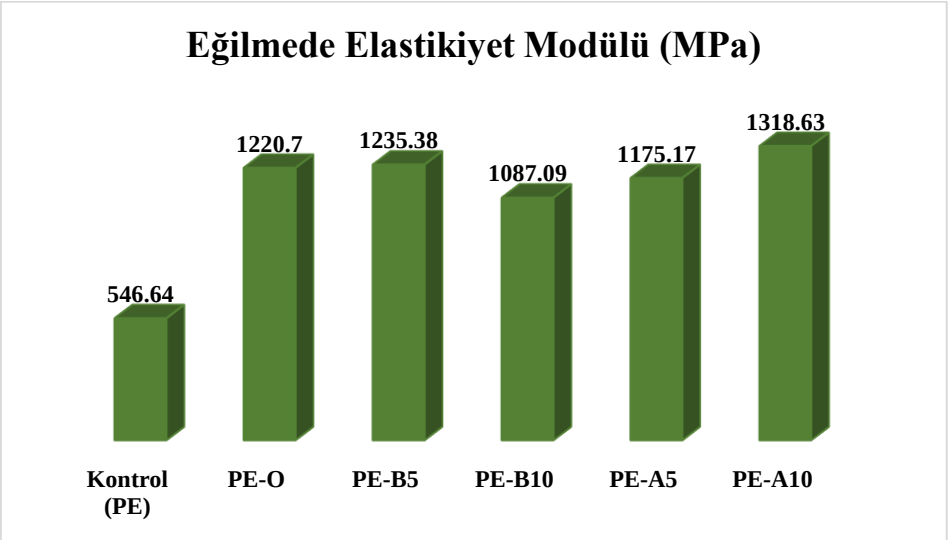
Görsel 3'te örnek gruplarının kopmada uzama değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Kopmada uzama grafiği incelendiğinde, en yüksek değerin %43,56 ile kontrol PE grubunda, en düşük değerin ise %4,96 ile PE-A10 grubunda olduğu görülmüştür. Yangın geciktirici tipi ve oranının test örneklerinin kopmada uzama değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P< 0,006$ ve $P=0,010<0.05$). Odun-plastik kompozitlerde odun unu ve katkı maddesi oranının artması, kompozit malzemenin sertliğinin artmasına ve buna bağlı olarak elastikiyetinin azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, malzemenin daha rijit bir yapı kazanmasına ve sonuç olarak kopmada uzama değerlerinin düşmesine yol açmaktadır (Pan vd., 2012).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 4. Örnek Gruplarının Eğilme Direnci Değerini Gösteren Bar Grafiği

Eğilme direnci grafiği incelendiğinde, en yüksek değerin 35,11 MPa ile PE-A10 grubunda, en düşük değerin ise 20,25 MPa ile PE grubunda elde edildiği görülmektedir. Yangın geciktirici tipi ve oranının test örneklerinin eğilme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($p< 0,001$ ve $p=0,012<0.05$). Katkı maddelerinin kompozit yapı içerisinde dolgu görevi görerek deformasyona karşı direnci artırması, malzemenin daha yüksek direnç göstermesine neden olmuş olabilir. Bunun sonucunda, APP ve borik asit oranının artmasıyla kompozitlerin eğilme direncinde artış gözlenmiştir. Görsel 4'te örnek gruplarının eğilme direnci değerini gösteren bar grafiği verilmiştir (Pan vd., 2012; Kurt ve Mengeloğlu, 2011).

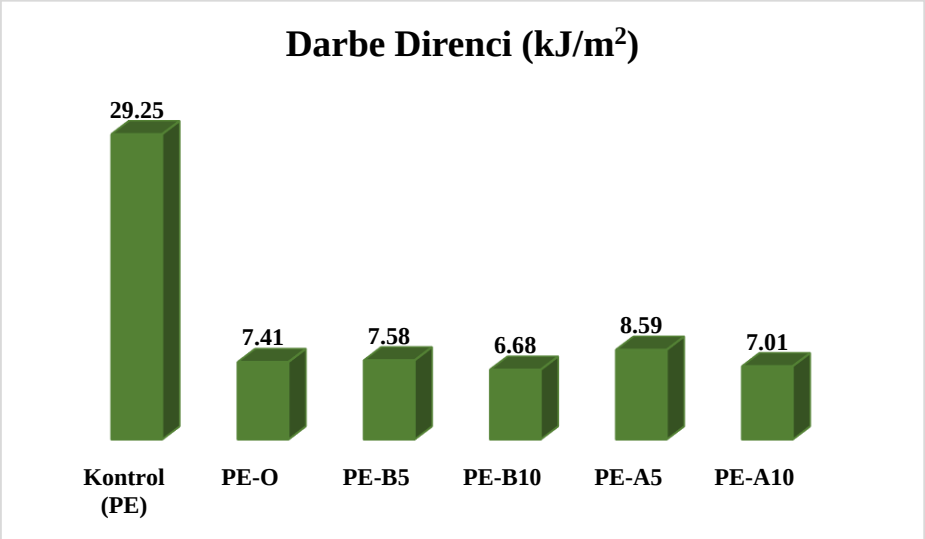


Görsel 5. Örnek Gruplarının Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerini Gösteren Bar Grafiği

Görsel 5'te örnek gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü grafiği incelendiğinde, en düşük değerin 546,64 MPa ile PE grubunda, en yüksek değerin ise 1318,63 MPa ile PE-A10 grubunda olduğu

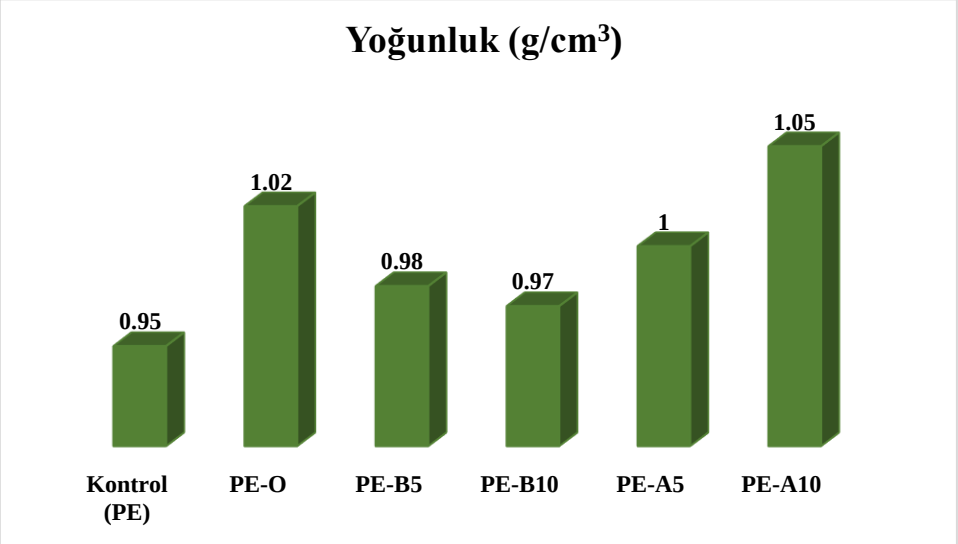
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

görülmektedir. Yangın geciktirici tipi ve oranının test örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($p=0,017<0.05$ ve $p=0,009$). Polimer matrise eklenen katkı maddelerinin daha yüksek modüle sahip olması nedeniyle EMM değerlerinde artış meydana gelmektedir.



Görsel 6. Örnek Gruplarının Darbe Direnci Değerini Gösteren Bar Grafiği

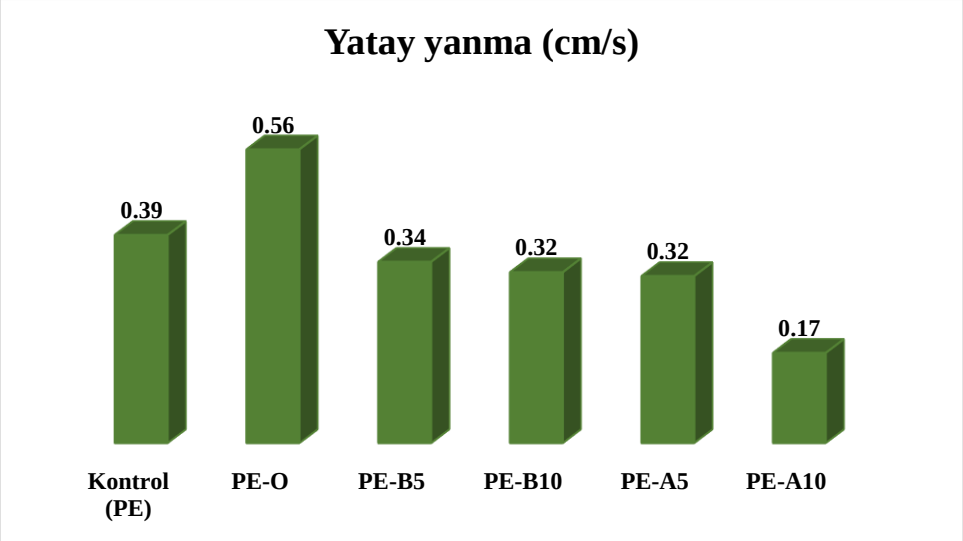
Darbe direnci grafiği incelendiğinde, en yüksek değerin 29,25 kJ/m² ile kontrol (PE) grubunda, en düşük değerin ise 6,68 kJ/m² ile PE-B10 grubunda elde edildiği görülmektedir. Yangın geciktirici tipi ve oranının test örneklerinin darbe direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerde APP'li gruplarda istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu BA'li olanda anlamsız olduğu belirlenmiştir ($p<0,001$ ve $p=0,238$). Bu durum, katkıların kompozit yapının rijitliğini artırarak darbe sırasında enerji absorpsiyon kapasitesini azaltmasıyla açıklanabilir. Görsel 6'da örnek gruplarının darbe direnci değerini gösteren bar grafiği verilmiştir (Çavdar vd., 2015).



ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Görsel 7. Örnek Gruplarının Yoğunluk Değerini Gösteren Bar Grafiği

Yoğunluk grafiği incelendiğinde, en yüksek değerin 1,05 g/cm^3 ile PE-A10 grubunda, en düşük değerin ise 0,95 g/cm^3 ile PE grubunda elde edildiği görülmektedir. Yangın geciktirici tipi ve oranının test örneklerinin yoğunluk değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($p<0,001$). Eklenen katkı maddelerinin yoğunluğunun polimer matristen daha yüksek olması sebebiyle yoğunlukta artış meydana gelmiştir. (Borik asit 1,44 g/cm³, amonyum polifosfat yaklaşık 1,8–2,0 g/cm³, HDPE 0,9040-0,970 g/cm ^{3}). Görsel 7'de örnek gruplarının yoğunluk değerini gösteren bar grafiği verilmiştir.



Görsel 8. Örnek Gruplarının Yatay Yanma Hızı Değerini Gösteren Bar Grafiği

Görsel 8'de örnek gruplarının yatay yanma değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Doğrusal Yanma hızı grafiği incelendiğinde, en yüksek değerin 0,56 cm/s ile PE-O grubunda, en düşük değerin ise 0,17 cm/s ile PE-A10 grubunda elde edildiği görülmektedir. Yangın geciktirici tipi ve oranının test örneklerinin doğrusal yanma hızı değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($p<0,001$). Polimer matrise odun unu ilavesiyle yanma hızında artış meydana gelmiştir. %10 APP ilavesi ise hızı azaltarak daha belirgin bir etki göstermiştir (Arao vd., 2014).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yapılan testlere göre şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Odun unu ilavesi, çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülünü artırmış, darbe direncini ve yanma direncini olumsuz etkilemiştir.
- BA ve APP ilavesi, mekanik özelliklerde farklı sonuçlar vermiştir. APP, özellikle çekme ve eğilmede elastikiyet modülünü artırmıştır.
- Katkı oranının artmasıyla yoğunluk artmış, kopmada uzama azalmıştır.

- BA ve APP oranının artması yatay yanma hızını azaltmıştır. En düşük değer %10 APP grubunda 0,17 cm/s olarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak, yangın geciktirici katkı türü ve oranı, kompozitlerin mekanik, fiziksel ve yanma özelliklerini etkilemiştir.

KAYNAKÇA

[1] Avcı, B., Atar, İ. ve Mengeloğlu, F. (2025). Yüksek yoğunluklu polietilen esaslı kompozitlerde dolgu maddesi olarak odun unu ve tavuk tüyü kullanımının araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28(2), 690–701.

[2] Kurt, R. and Mengeloğlu, F. (2011). Utilization of boron compounds as synergists with ammonium polyphosphate for flame retardant wood-polymer composites. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 35 (2), 155–163. https://doi.org/10.3906/tar-0910-508

[3] Kumar, R., Gunjal, J. and Chauhan, S. (2022). Effect of borax-boric acid and ammonium polyphosphate on flame retardancy of natural fiber polyethylene composites. Maderas. Ciencia y Tecnología, 24, 1–10. https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100434

[4] Klyosov, A. A. (2007). Wood-Plastic Composites. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9780470165935

[5] Xu, K., Du, G. and Wang, S. (2021). Wood Plastic Composites: Their Properties and Applications. In Engineered Wood Products for Construction. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.98918

[6] Mitaľová, Z., Mitaľ, D. and Berladir, K. (2024). A Concise Review of the Components and Properties of Wood–Plastic Composites. Polymers, 16(11), 1556. https://doi.org/10.3390/polym16111556

[7] Zhang, J., Mei, C., Huang, R., Xu, X., Lee, S., Kim, B. J. ve Wu, Q. (2018). Comparative mechanical, fire-retarding, and morphological properties of high-density polyethylene/(wood flour) composites with different flame retardants. Journal of Vinyl and Additive Technology, 24, 3–12. https://doi.org/10.1002/vnl.21516

[8] Pan, M., Mei, C. ve Song, Y. (2012). A novel fire retardant affects fire performance and mechanical properties of wood flour-high density polyethylene composites. BioResources, 7(2), 1760–1770. https://doi.org/10.15376/biores.7.2.1760-1770

[9] Cavdar, A. D., Mengeloglu, F. ve Karakus, K. (2015). Effect of boric acid and borax on mechanical, fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

composites. Measurement, 60, 6–12. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.078

[10] Chem-Lab. (t.y.). Boric acid: Physical properties. https://www.chem-lab.be/en-gb/prod/1393363/Boric-acid-a-r-10043-35-3-ACS-ISO-Ph-Eur-buffer-substance-CL00-0216

[11] Arao, Y., Nakamura, S., Tomita, Y., Takakuwa, K., Umemura, T. ve Tanaka, T. (2014). Improvement on fire retardancy of wood flour/polypropylene composites using various fire retardants. Polymer Degradation and Stability, 100, 79–85. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.12.022

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

KIZILÇAM ODUN UNU VE PİRİNÇ KAVUZU LİFİ TAKVİYELİ POLİPROPİLEN KOMPOZİTLERİN BELİRLİ MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMALI İNCELENMESİ

Dr. BÜŞRA AVCI

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,

busraavci@yahoo.com.tr - ORCID:0000-0003-1710-2778

Doç. Dr. İLKAY ATAR

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,

İlkayatar53@gmail.com - ORCID:0000-0001-9527-1791

Prof. Dr. FATİH MENGELOĞLU

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi,

fmengelo@gmail.com - ORCID:0000-0002-2614-3662

ÖZET

Polimer matris içerisine (polipropilen, polietilen, polistiren vb.) doğal liflerin (odun unu, bambu lifi, jüt, keten, kenevir, pirinç kavuzu, mısır sapı, buğday sapı vb.) takviye malzemesi olarak ilave edildiği birçok çalışma bulunmaktadır. Bu doğal liflerin tercih edilmesinde polimer kullanım oranını azaltmak, daha düşük maliyetli malzemeler üretmek ve biyolojik bozunma süresini kısaltmak gibi nedenler etkili olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, polipropilen (PP) matrisi içerisine kızılçam odun unu ve pirinç kavuzu olmak üzere iki farklı lignoselülozik takviye malzemesi ayrı ayrı ilave edilerek odun-plastik kompozitler (OPK) üretilmiştir. Her iki takviye malzemesi %0, %15, %30 ve %45 oranlarında kullanılmıştır. Uyumlaştırıcı ajan olarak %3 oranında maleik anhidrit ile graft edilmiş polipropilen (MAPP) bütün karışımlarda kullanılmıştır. Test örneklerinin üretimi tek vidalı ekstruder ve enjeksiyon kalıplama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Her bir karışım parametresi için yedi grup odun-plastik kompozit üretilmiş ve her bir grup için beş örnek test edilmiştir. Çalışmada, kullanılan takviye malzemesinin türünün ve oranının OPK'lerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda, üretilen örneklerin çekme direnci, eğilme direnci, elastikiyet modülü ve darbe direnci belirlenmiş; fiziksel özelliklerin değerlendirilmesi amacıyla yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Hazırlanan örneklerin çekme, eğilme, darbe dayanımı ve yoğunluk değerleri sırasıyla ASTM D638, ASTM D790, ASTM D256 ve ASTM D792 standartlarına göre belirlenmiştir. Böylece, iki farklı takviye malzemesi birbiriyle karıştırılmadan, her birinin PP esaslı OPK'lerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerinin ayrı ayrı ortaya konulması ve karşılaştırılması amaçlanmıştır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Anahtar Kelimeler: Polipropilen (PP), kızılçam odun unu, pirinç kavuzu, mekanik özellikler, fiziksel özellikler.

A COMPARATIVE INVESTIGATION OF SELECTED MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE COMPOSITES REINFORCED WITH RED PINE WOOD FLOUR AND RICE HUSK FIBERS

ABSTRACT

Many studies have investigated the incorporation of natural fibers (e.g., wood flour, bamboo fiber, jute, flax, hemp, rice husk, corn stalk, and wheat straw) as reinforcing materials into polymer matrices such as polypropylene, polyethylene, and polystyrene. The main reasons for using these natural fibers include reducing polymer consumption, producing lower-cost materials, and shortening the time required for biodegradation. In this study, wood–plastic composites (WPCs) were produced by separately incorporating two different lignocellulosic reinforcing materials, namely red pine wood flour and rice husk, into a polypropylene (PP) matrix. Both reinforcing materials were used at loading levels of 0%, 15%, 30%, and 45%. Maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) was used as a compatibilizing agent at a concentration of 3% in all formulations. The test specimens were manufactured using a single-screw extruder and injection molding. Seven groups of wood–plastic composites were produced for each mixture parameter, and five specimens from each group were tested. The effects of the type and proportion of the reinforcing material on the mechanical and physical properties of the WPCs were investigated. Accordingly, tensile strength, flexural strength, modulus of elasticity, and impact strength were determined, while density measurements were performed to evaluate the physical properties. The tensile, flexural, impact, and density tests were conducted in accordance with ASTM D638, ASTM D790, ASTM D256, and ASTM D792 standards, respectively. Thus, the study aimed to independently determine and compare the effects of the two reinforcing materials on the mechanical and physical properties of PP-based WPCs without blending the two materials together.

Keywords: Polypropylene (PP), red pine wood flour, rice husk, wood-plastic composites, mechanical properties, physical properties.

1.GİRİŞ

Odun-plastik kompozitler (OPK), lignoselülozik malzemelerin (odun unu, tarımsal atıklar vb.) polimer matris içerisinde takviye malzemesi olarak kullanılmasıyla elde edilen mühendislik malzemeleridir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Son yıllarda polipropilen (PP), polietilen (PE) ve polistiren (PS) gibi polimerlerin doğal liflerle birleştirilmesine yönelik çalışmalar artmaktadır. Odun unu, bambu, jüt, keten, kenevir, pirinç kavuzu, mısır sapı ve buğday sapı gibi yenilenebilir lignoselülozik kaynaklar, kompozit üretiminde alternatif takviye malzemeleri olarak kullanılmaktadır.

Kızılçam (Pinus brutia Ten.) odunu, Türkiye'de yaygın olarak bulunan ve odun ürünleri endüstrisinde değerlendirilen önemli bir çam türüdür. Kızılçam odununun işlenmesi sırasında ortaya çıkan odun unu ve benzeri ince parçacıklar, uygun özelliklere sahip olduklarında çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Odun unu; levha sektöründe, kağıt yapımında ve pelet yapımında kullanılabilmektedir (Bektaş vd., 1999). Bu tür atıkların değerlendirilmesi, odun hammaddesinden yararlanma oranının artırılması ve kaynakların daha verimli kullanılması açısından önemlidir.

Pirinç kavuzu; hayvancılıkta altlık malzemesi, tarımda kompost ve toprak düzenleyici, enerji sektöründe biyokütle yakıtı ve inşaat sektöründe ise pirinç kavuzu külü formunda çimento ve beton katkısı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, içerdiği silika nedeniyle endüstriyel silika üretiminde de önemli bir ham madde kaynağıdır (Kordi vd.,2024).

Doğal liflerin OPK üretiminde tercih edilmesinin temel nedenleri, kullanılan polimer miktarını azaltmak, üretim maliyetlerini düşürmek, yenilenebilir kaynaklardan yararlanmak ve kompozitlerin çevre dostu olmasına katkı sağlamaktır. Bu çalışmanın amacı, PP esaslı odun-plastik kompozitlerde kızılçam odun unu ve pirinç kavuzunun farklı oranlarda kullanımının kompozitlerin mekanik (çekme, eğilme, darbe dayanımı, elastikiyet modülü) ve fiziksel özellikleri (yoğunluk) üzerindeki etkisini incelemektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Kompozit üretiminde materyal olarak EH 102 kodlu polipropilen (PP), lignoselülozik takviye maddesi olarak 60 mesh ölçüsünde kızılçam odun unu ve pirinç kavuzu lifi, uyumlaştırıcı ajan olarak maleik anhidrit ile graft edilmiş polipropilen (MAPP) kullanılmıştır. Kompozit üretiminde kullanılan polipropilen PETKİM Petrokimya'dan, kızılçam odun unu Kahramanmaraş il merkezinde bulunan marangoz atölyesinden temin edilmiştir. Pirinç kavuzu ise ticari olarak temin edilmiştir.

2.2. Metot

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Üretim reçetesine bağlı olarak karışımlar hazırlanmıştır (Çizelge 1.).

Çizelge 2. Üretim Reçetesi

Grup	PP (%)	MAPP (%)	Kızılçam odun unu (%)	Pirinç kavuzu lifi (%)
PP	97	3	-	-
PP-P-15	82	3	-	15
PP-P-30	67	3	-	30
PP-P-45	52	3	-	45
PP-O-15	82	3	15	-
PP-O-30	67	3	30	-
PP-O-45	52	3	45	-

PP: %97 Polipropilen+%3 MAPP
PP-P-15: %82 Polipropilen+%3 MAPP+%15 Pirinç kavuzu lifi
PP-P-30: %67 Polipropilen+%3 MAPP+%30 Pirinç kavuzu lifi
PP-P-45: %52 Polipropilen+%3 MAPP+%45 Pirinç kavuzu lifi
PP-O-15: %82 Polipropilen+%3 MAPP+%15 Kızılçam Odun unu
PP-O-30: %67 Polipropilen+%3 MAPP+%30 Kızılçam Odun unu
PP-O-45: %52 Polipropilen+%3 MAPP+%45 Kızılçam Odun unu



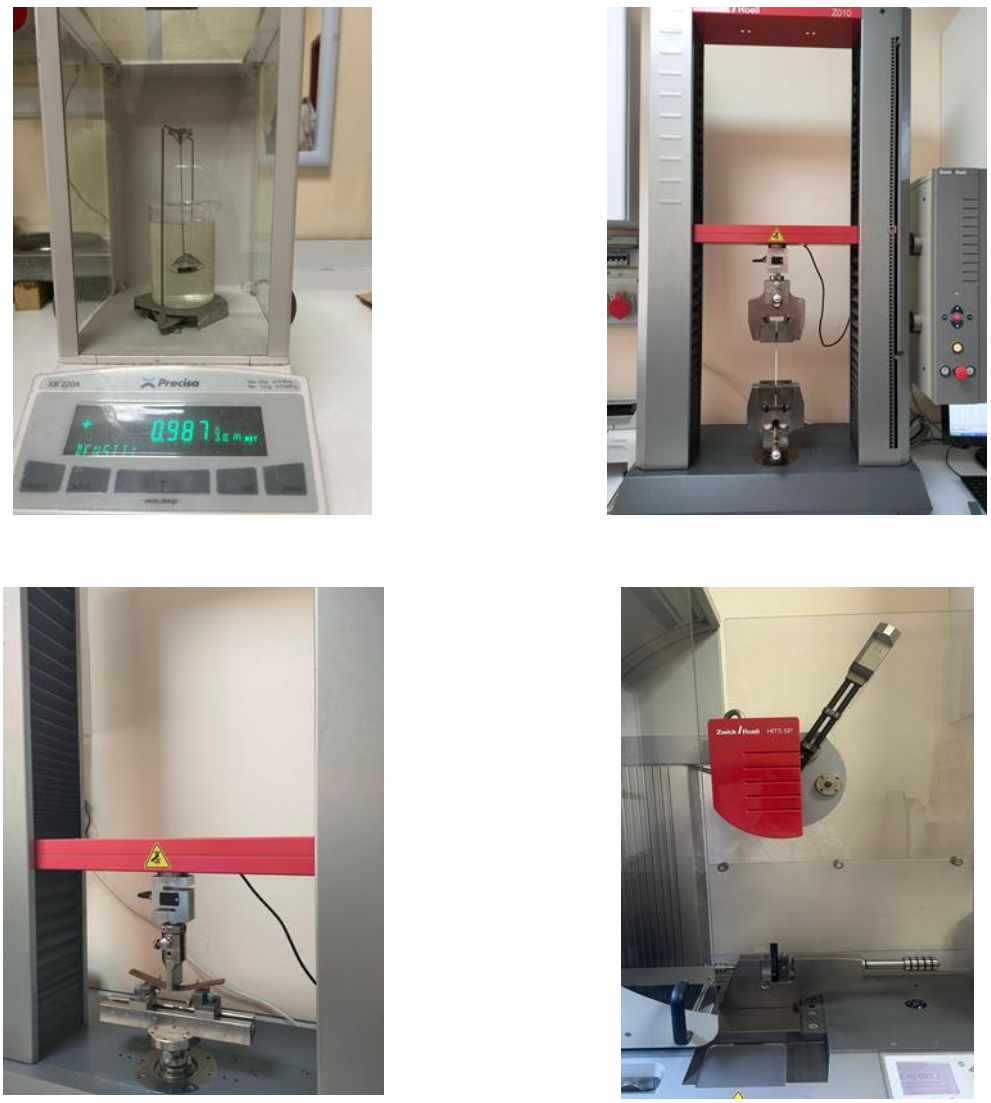
Görsel 9. Kompozit Üretimi

Dolgu maddesi olarak kızılçam odun unları ve pirinç kavuzu lifi sarsak elekte elenerek 40 mesh üzerinde kalan kısımlar kullanılmıştır. Elenen kızılçam odun unları ve pirinç kavuzu lifi 24 saat boyunca 103 °C (± 2) etüvde kurutulmuştur. Elde edilen karışımlar tek vidalı ekstruder kullanılarak üretilmiştir (Ekstruder sıcaklığı sırasıyla: 180, 185, 190, 195, 200 ºC, vida hızı: 40rpm). Ekstruderden geçirilen örnekler soğuk su (23 °C ±2) içerisine küçük parçalar halinde

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

kesilerek soğutulmuş ve kırıcıda ufalandıktan sonra boncuk haline getirilmiştir. Boncuklar, 24 saat boyunca 103 °C (± 2) etüvde kurutulmuştur (Görsel 1.).

Kurutulan boncuklardan enjeksiyon kalıplama makinasıyla test örnekleri oluşturulmuştur (Enjeksiyon makinesi sıcaklığı: 190, 195, 200 ºC).

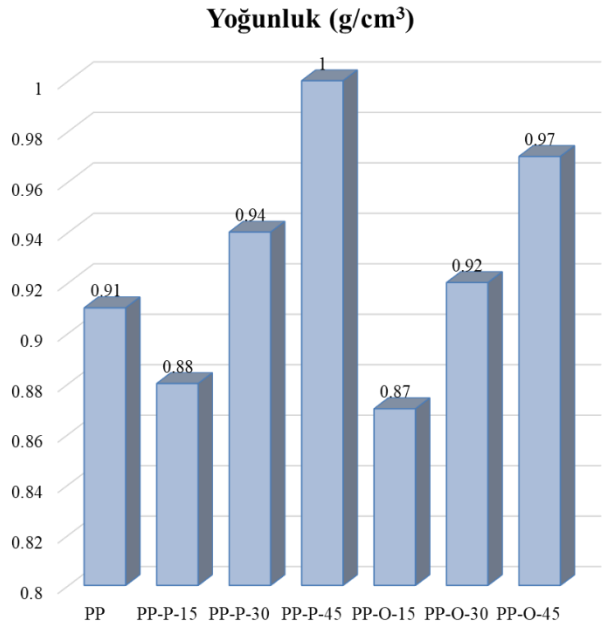


Görsel 10. Yoğunluk test cihazı, Zwick Roell Üniversal Çekme, Eğilme ve Darbe Test cihazları

Elde edilen test örnekleri, ASTM D792 standartına göre yoğunluk, ASTM D638 standardına göre çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama testi, ASTM D790'a göre eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü, ASTM D256'a göre darbe direnci testlerine tabi tutulmuştur (Görsel 2.). Elde edilen dataların SPSS programı (IBM SPSS 20.0) kullanılarak istatistik analizleri yapılmıştır. Örnek kombinasyonlarının fiziksel, mekanik ve yanma özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi amacıyla ANOVA basit varyans analizi uygulanmıştır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

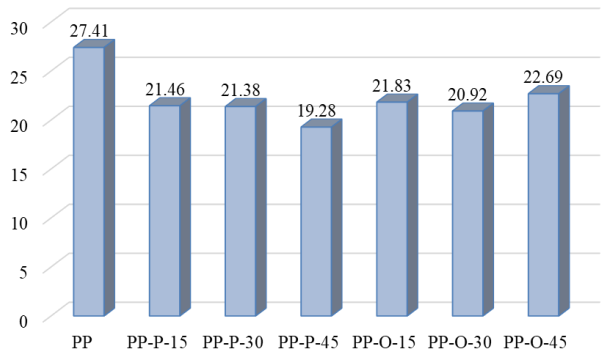
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME



Görsel 11. Örnek Gruplarının Yoğunluk Değerini Gösteren Bar Grafiği

Görsel 3'te örnek gruplarının yoğunluk değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Yoğunluk test sonucu grafiğine baktığımızda en düşük değer 0,87 g/cm3 ile PP-O-15 grubunda, en yüksek değer 0,97 g/cm3 ile PP-P-45 grubunda olduğu görülmektedir. Dolgu tipi ve oranının test örneklerinin yoğunluk değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.002$). Pirinç kavuzu içeren kompozitlerin yoğunluk değerlerinin odun unu içeren kompozitlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, pirinç kavuzunun yapısında bulunan yüksek mineral, özellikle silika, içeriği, dolgu yapısı ve boşluk miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir (Luna vd., 2015; Ahmet vd.,1993).

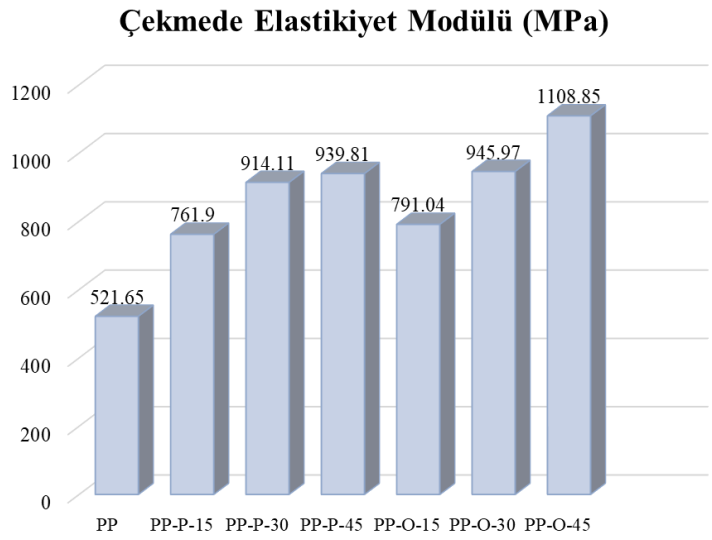
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 12. Örnek Gruplarının Çekme Direnci Değerini Gösteren Bar Grafiği

Görsel 4'te örnek gruplarının çekme direnci değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Çekme direnci test sonucu grafiğine baktığımızda en yüksek değerin PP grubunda 27,41 MPa, en düşük değerin PP-P-45 grubunda 19,28 MPa olduğu görülmektedir. Dolgu tipi ve oranının test örneklerinin çekme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.001$). Kızılçam odun unu ve pirinç kavuzu oranının artmasıyla çekme direncinde genel olarak azalma gözlenirken, %45 kızılçam dolgu oranında beklenen eğilimin aksine artış meydana gelmiştir. Bu artışın, yüksek dolgu oranında dolgu dağılımı, ara yüzey etkileşimi ve örneklerin üretim koşullarındaki farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Yang vd., 2004; Danyadi vd.,2007).

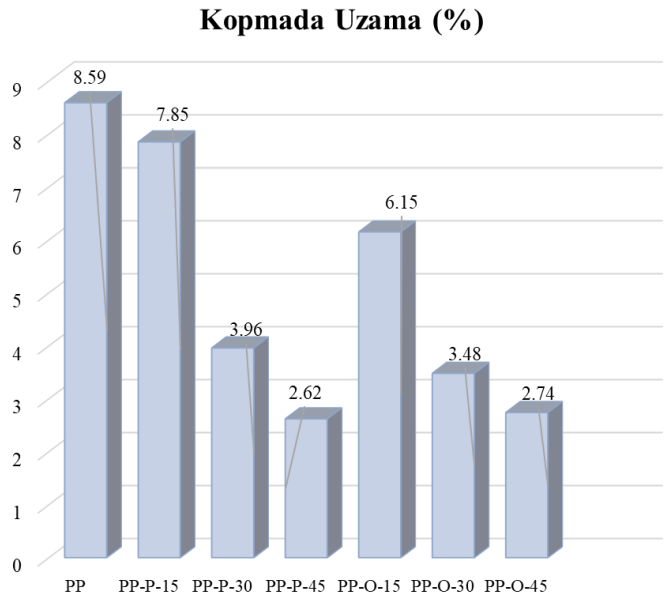
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 13. Örnek Gruplarının Çekmede Elastikiyet Modülü Değerini Gösteren Bar Grafiği

Çekmede elastikiyet modülü değeri test sonucu grafiğine baktığımızda en yüksek değerin PP-O-45 grubunda 1108,85 MPa, en düşük değerin PP grubunda 521,65 MPa olduğu görülmektedir. Dolgu tipi ve oranının test örneklerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.001$). Dolgu maddesi miktarı arttıkça çekmede elastikiyet modülü değerleri artmıştır. Bu durum lignoselülozik esaslı dolgu maddelerinin polimer matrisi içerisine katılmasıyla beklenen bir artış olup genelde karışım kuralı (kompozitin özelliklerinin, içindeki malzemelerin özelliklerinden ve miktarlarından etkilenmesi) ile açıklanmaktadır (Maiti ve Subbarao, 1991). Görsel 5'te örnek gruplarının çekmede elastikiyet modülü değerini gösteren bar grafiği verilmiştir.

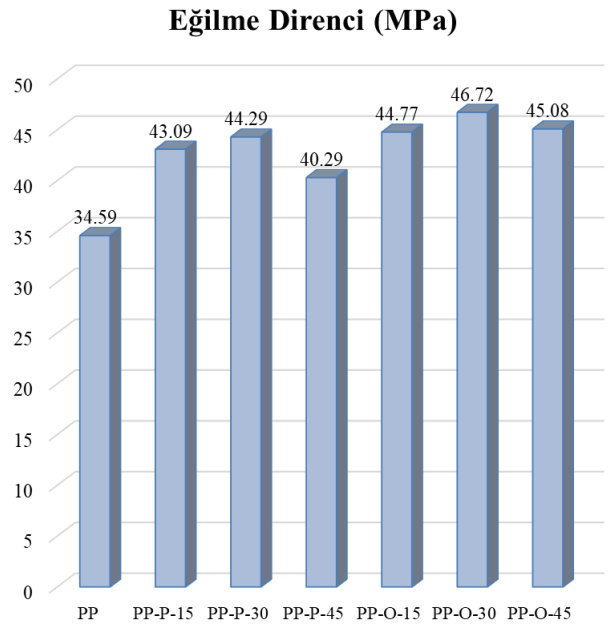
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 14. Örnek Gruplarının Kopmada Uzama Değerini Gösteren Bar Grafiği

Kopmada uzama değeri test sonucu grafiğine baktığımızda en yüksek değerin PP grubunda %8,59 en düşük değerin PP-P-45 grubunda %2,62 olduğu görülmektedir. Dolgu tipi ve oranının test örneklerinin kopmada uzama değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.001$ ve $P<0.007$). Polimer matris içerisine dolgu miktarının oranının artmasına paralel olarak kopmada uzama miktarında düşmelere neden olacağı, oranın artması ile OPK'lerin sertlik değerlerini arttırmasından dolayı kopmada uzama miktarında azalmaya neden olacağı belirtilmiştir. Görsel 6'da örnek gruplarının kopmada uzama değerini gösteren bar grafiği verilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

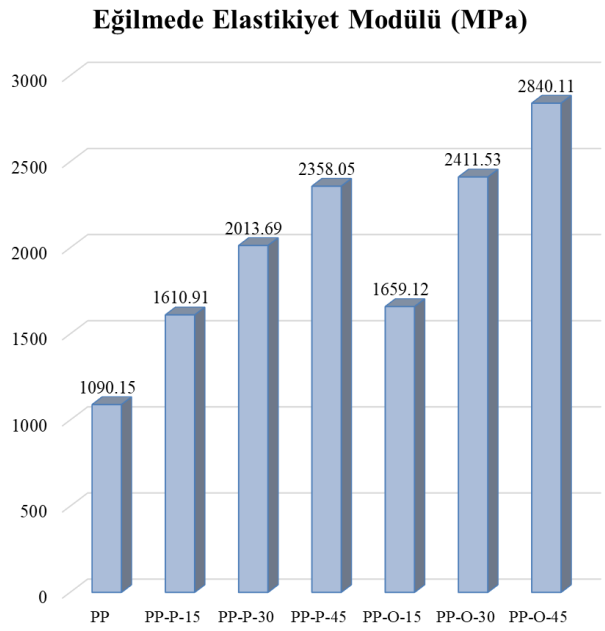


Görsel 15. Örnek Gruplarının Eğilme Direnci Değerini Gösteren Bar Grafiği

Görsel 7'de örnek gruplarının eğilme direnci değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Eğilme direnci test sonucu grafiğine baktığımızda en yüksek değerin PP-O-30 grubunda 46,72 MPa, en düşük değerin PP grubunda 34,59 MPa olduğu görülmektedir. Dolgu tipi ve oranının test örneklerinin eğilme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.001$).

Dolgu maddesi tipi fark etmeksizin dolgu oranı arttıkça eğilme direnci değerleri artmıştır. Ancak %45 dolgu oranında eğilme direncinde azalma meydana gelmiştir. Bu durumun, artan dolgu oranına bağlı olarak polimer miktarının azalmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Literatürde de benzer şekilde sonuçlar görülmüştür (Poletto, 2020).

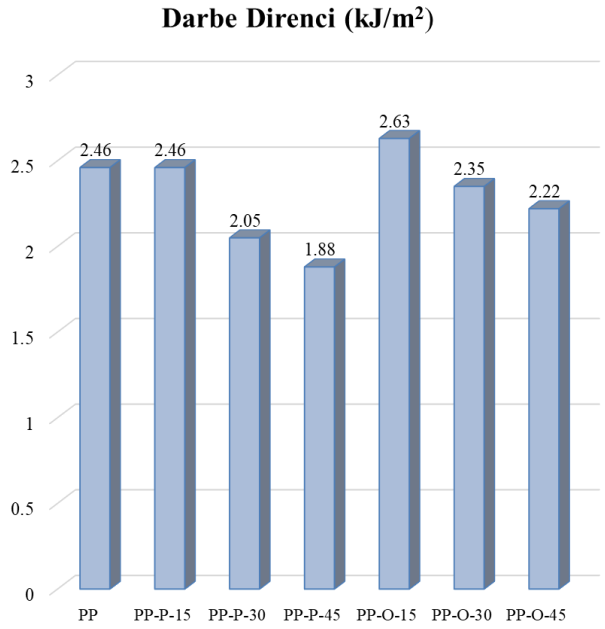
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 16. Örnek Gruplarının Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerini Gösteren Bar Grafiği

Eğilmede elastikiyet modülü değeri test sonucu grafiğine baktığımızda en yüksek değerin PP-O-45 grubunda 2840,11 MPa, en düşük değerin PP grubunda 1090,15 MPa olduğu görülmektedir. Dolgu tipi ve oranının test örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.001$).Kızılçam odun unu ve pirinç kavuzu polimerlerden daha yüksek elastikiyet modülü değerlerine sahiptirler. Görsel 8'de örnek gruplarının eğilmede elastikiyet modülü değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Bunun neticesinde ise kompozit malzemelerde polimere nazaran daha iyi bir eğilmede elastikiyet modülü elde edilmektedir (Yang vd., 2004).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 17. Örnek Gruplarının Darbe Direnci Değerini Gösteren Bar Grafiği

Görsel 9'da örnek gruplarının darbe direnci değerini gösteren bar grafiği verilmiştir. Darbe direnci test sonucu grafiğine baktığımızda en yüksek değerin PP-O-15 grubunda 2,63 kJ/m^2, en düşük değerin PP-P-45 grubunda 1,88 kJ/m^2 olduğu görülmektedir. Dolgu tipi ve oranının test örneklerinin darbe direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerlerin istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olmadığı bulunmuştur ($p = 0,114 > 0,05$) Polimer matris içine dolgu maddesi katılmasının OPK sertliğini arttırarak OPK'yı daha kırılgan bir hale getirdiği, darbe direnci değerlerini azalttığı tespit edilmiştir (Çavuş ve Mengeloğlu, 2020).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

PP içerisine farklı oranlarda (%0, %15, %30 ve %45) kızılçam odun unu ve pirinç kavuzu lifi ilave edilerek üretilen kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Yapılan testlere göre şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Pirinç kavuzu içeren kompozitlerin yoğunluk değerleri, kızılçam odun unu içeren kompozitlerden daha yüksek bulunmuştur.
- Dolgu oranının artmasıyla elastikiyet modülü genel olarak artmış; en yüksek değerler kızılçam odun unu içeren gruplarda elde edilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

- Çekme direnci her iki dolgu türünde genel olarak azalmış, ancak %45 kızılçam odun unu grubunda artış gözlenmiştir.
- Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü dolgu oranının artmasıyla genel olarak yükselmiştir. Kopmada uzama dolgu oranının artmasıyla azalmıştır.
- Darbe direnci dolgu oranının artmasıyla genel olarak azalmış, ancak gruplar arasındaki farklılığın belirgin olmadığı görülmüştür.

KAYNAKÇA

[1] Luna, I. Z., Dam, K. C., Chowdhury, A. M. S., Gafur, M. A., Khan, N. ve Khan, R. A., "Physical and Thermal Characterization of Alkali Treated Rice Husk Reinforced Polypropylene Composites," Advances in Materials Science and Engineering, 2015, Article ID 907327. https://doi.org/10.1155/2015/90732.

[2] Ahmad Fuad, M. Y., Yaakob, I., Mohd Ishak, Z. A. ve Mohd Omar, A. K., "Density measurement of rice husk ash filler particles in polypropylene composites," Polymer Testing, 12(2), 107–112, 1993. https://doi.org/10.1016/0142-9418(93)90033-L.

[3] Yang, H.-S., Kim, H.-J., Son, J., Park, H.-J., Lee, B.-J. ve Hwang, T.-S. (2004). Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study. Composite Structures, 63(3–4), 305–312. https://doi.org/10.1016/S0263-8223(03)00179-X.

[4] Dányádi, L., Janecska, T., Szabó, Z., Nagy, G., Móczó, J. ve Pukánszky, B. (2007). Wood flour filled PP composites: Compatibilization and adhesion. Composites Science and Technology, 67(13), 2838–2846. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.01.024.

[5] Maiti, S. N. ve Subbarao, R. (1991). Mechanical properties of isotactic polypropylene/wood flour composites. International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials, 15(1), 1–16. https://doi.org/10.1080/00914039108031517.

[6] Poletto, M. (2020). Natural oils as coupling agents in recycled polypropylene wood flour composites: Mechanical, thermal and morphological properties. Journal of Elastomers & Plastics. https://doi.org/10.1177/0967391119886941.

[7] Çavuş, V. ve Mengeloğlu, F. (2020). Effect of wood particle size on selected properties of neat and recycled wood polypropylene composites. BioResources, 15(2), 3427–3442. https://doi.org/10.15376/biores.15.2.3427-3442.

[8] Kordi, M., Farrokhi, N., Pech-Canul, M. I. ve Ahmadikhah, A. (2024). Rice husk at a glance: From agro-industrial to modern applications. Rice Science, 31(1), 14–32. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.08.005.

[9] Bektaş, İ., Tutuş, A. ve Eroğlu, H. (1999). Türkiye'de doğal olarak yetişen kızılçam (Pinus brutia Ten.) odunlarının lif morfolojisinin kâğıt yapımına uygunluğunun araştırılması. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, 589–598.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

DESIGN-ORIENTED ANALYSIS OF A HIGH STEP-UP QUADRATIC BOOST CONVERTER WITH COUPLED INDUCTOR AND CAPACITOR-LIFT CELLS

Dr. Öğr. Üyesi, YAVUZ KOÇ
Yüzüncü Yıl Üniversitesi,
yavuzkoc@yyu.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-0354-2636
Dr. Öğr. Üyesi, ERDOĞAN ÖZEL
Yüzüncü Yıl Üniversitesi,
erdoganozel@yyu.edu.tr- 0000-0002-4366-7257

ABSTRACT

This study proposes a high-gain DC–DC converter with a quadratic boost structure integrated with a coupled inductor and capacitive voltage lift technique. The proposed topology aims to achieve high voltage gain by eliminating the high duty cycle and large winding ratio requirements encountered in conventional high-gain converters. The combination of the quadratic structure and the coupled inductor allows the converter to achieve a high voltage conversion ratio while reducing voltage stresses on the semiconductor elements.
Unlike conventional quadratic and step-up converters, the proposed structure achieves higher gain through capacitive voltage lift and magnetic coupling, using a simple structure and a single switch. Furthermore, the efficient use of magnetization inductance increases energy transfer efficiency and reduces switching losses.
In this study, a steady-state analysis of the converter under continuous conduction mode (CCM) was performed; voltage gain, current relationships, and design criteria of the circuit elements were obtained in detail. Additionally, design equations were derived considering the determined voltage ripple limits and CCM operating conditions. Theoretical analysis was validated by simulation results performed at a 36 V input, 300 V output, and 250 W power level.
The results show that the proposed converter offers high voltage gain, low ripple, and improved efficiency. In this respect, the converter is a suitable and strong candidate for renewable energy applications such as photovoltaic systems and fuel cells.

Key Words: High-Gain DC–DC Converter, Coupled Inductor, Volltage Lift Cell, Quadratic Boost Converter.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ALANYA TARİHİ KENT MERKEZİ ÜZERİNE SİSTEMATİK BİR LİTERATÜR TARAMASI: MEVCUT EĞİLİMLER VE BOŞLUKLAR

Nurbanu ÇEVİK
Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Programı, Ankara, Türkiye
24831101014@gazi.edu.tr - 0009-0002-9012-1465

Beyza Nur UZUN
Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Programı, Ankara, Türkiye
24831101012@gazi.edu.tr - 0009-0009-38749520

Prof. Dr. Özlem SAĞIROĞLU DEMİRCİ
Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye
osagiroglu@gazi.edu.tr - 0000-0001-6708-3208

ÖZET
Alanya Tarihi Kent Merkezi'nin Helenistik'ten Osmanlı'ya uzanan tarihsel sürekliliği ile turizm odaklı kentsel dönüşüm süreçlerini ele alan bu çalışma, bölge üzerine üretilen akademik literatürün tematik eğilimlerini ve araştırma boşluklarını bütüncül bir yaklaşımla incelemektedir. Sistematik literatür taraması (SLR) yöntemiyle, Scopus, Web of Science, TR Dizin ve Google Scholar'da belirlenen 25 temel kaynak ve kartopu yöntemiyle eklenen 18 yayın olmak üzere toplam 43 kaynak analize dahil edilmiştir. Çalışmanın kavramsal çerçevesini Alan/Yer (G1), Miras/Mimarlık (G2), Koruma (G3) ve Turizm/Kentsel Değişim (G4) olmak üzere dört ana tematik grup oluşturmaktadır. Sentez matrisleri aracılığıyla elde edilen bulgular; literatürün makro ölçekli tarih yazımları ile mikro ölçekli tekil yapı incelemeleri arasında kutuplaştığını, ancak bütüncül ara kademe ölçek çalışmalarının eksik olduğunu göstermektedir. Kitle turizminin yarattığı yoğun baskı, geleneksel konutların yeniden işlevlendirilmesindeki özgünlük kayıpları ve imar planlarının sahada tıkanması başlıca koruma sorunları olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak araştırma, mevcut literatürün fiziksel tahribatlara odaklanırken yerel halkın sosyo-ekonomik dönüşümünü, mülkiyet değişimlerini ve yaya deneyimi odaklı mekansal analizleri ihmal ettiğini ortaya koymaktadır. Çalışma, elde edilen bulgular ışığında gelecekteki araştırmalar ve koruma stratejileri için rehber niteliğinde bir yol haritası sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Alanya Tarihi Kent Merkezi, Kentsel Koruma, Sistematik Literatür Taraması, Kartopu Yöntemi, Tematik Sentez

1. GİRİŞ
Alanya Tarihi Kent Merkezi; Helenistik dönemden Selçuklu ve Osmanlı katmanlarına uzanan kesintisiz tarihsel sürekliliği, Alanya Kalesi, Tophane Mahallesi ve geleneksel konut dokusuyla Akdeniz havzasının en özgün kentsel sit alanlarındandır (Konyalı, 1946). Tarihi kent dokuları, geçirdikleri sosyo-ekonomik ve mekansal değişimler neticesinde bir yandan koruma problemleriyle karşılaşırken, diğer yandan yoğun kitle turizminin baskısı altında özgünlük kaybı yaşatmaktadır (Akman, 2024). Bu bağlamda Alanya, tarihsel mirasın korunması ile turizm odaklı kentsel dönüşümün kesiştiği kritik bir alandır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Alanyazında Alanya'nın tarihi ve mimari gelişimine ışık tutan temel monografiler ve seyahatnameler mevcuttur (Konyalı, 1946; Lloyd & Storm Rice, 1964; İbn Battuta, 2004; Seydioğulları, 1991). Bu eserler kentsel hafızanın ve tarihsel arka planın anlaşılmasında temel başvuru kaynaklarını oluşturmaktadır. Ancak bu çalışmanın temel odak noktası, Alanya Tarihi Kent Merkezi'ni doğrudan ele alan akademik dergilerdeki hakemli makalelerdir. Mevcut makalelerin genellikle tekil yapı, malzeme analizi veya makro ölçekli tarihi coğrafya incelemeleri şeklinde dağınık bir seyir izlediği görülmektedir. Kentsel dokunun bütüncül ele alınması, koruma sorunlarının sınıflandırılması ve araştırma boşluklarının tespiti bu noktada önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Alanya Tarihi Kent Merkezi odaklı akademik literatürü sistematik bir yaklaşımla incelemek, mevcut eğilimleri ve araştırma boşluklarını ortaya koymaktır. Çalışmanın kavramsal omurgasını netleştirmek amacıyla dört ana tematik grup (G1–G4) tanımlanmıştır:

Çizelge 1. Alanya Tarihi Kent Merkezi Literatür Taraması Tematik Grupları ve Kavramsal Çerçevesi (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

Grup	**Kavramsal Alan**	**Kapsam**
G1	Alan / Yer	Alanya, Alanya Tarihi Kent Merkezi, Alanya Kalesi vb.
G2	Miras / Mimarlık / Tarihî Çevre	Kültürel miras, mimari miras, kentsel miras, geleneksel mimari, arkeolojik miras vb.
G3	Koruma	Koruma, restorasyon, rehabilitasyon, yeniden işlevlendirme, miras yönetimi vb.
G4	Turizm / Kentsel Değişim	Turizm, kitle turizmi, turizm baskısı, kentleşme, kentsel dönüşüm, bozulma vb.

Bu çerçeve, Scopus, Web of Science, TR Dizin, Dergipark ve Google Scholar'da taranan 25 temel kaynak ile kartopu (snowballing) yöntemiyle ulaşılan 18 ek makalenin analizinin teorik zeminini oluşturmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın temel amacı, Alanya Tarihi Kent Merkezi üzerine üretilen akademik literatürün tematik eğilimlerini, mimari ve kültürel miras bileşenlerini, koruma sorunlarını ve mevcut araştırma boşluklarını bütüncül bir yaklaşımla ortaya koymaktır. Bu kapsamda çalışma, literatürün hangi temalara odaklandığını (AS1), hangi mimari ve kentsel değerleri ele aldığını (AS2), hangi koruma sorunları ve baskıları öne çıkardığını (AS3) ve son olarak koruma açısından hangi metodolojik ve kavramsal boşluklara sahip olduğunu (AS4) yanıtlamayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda araştırmanın temel odak noktasını oluşturan soru ve alt sorular şunlardır:

Çizelge 2. Araştırma Soruları ve Alt Sorular Matrisi (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

Ana Araştırma Sorusu	Alanya Tarihi Kent Merkezi üzerine üretilen akademik literatürün tematik eğilimleri nelerdir ve mimari ve kentsel koruma açısından hangi araştırma boşlukları bulunmaktadır?
AS1	Alanya Tarihi Kent Merkezi üzerine yapılan akademik çalışmalar hangi temalara ve alt temalara odaklanmaktadır?
AS2	Bu çalışmalarda Alanya Tarihi Kent Merkezi'nin hangi mimari, kentsel, arkeolojik ve kültürel miras değerleri/bileşenleri ele alınmaktadır?
AS3	Mevcut literatür Alanya Tarihi Kent Merkezi'ne ilişkin hangi koruma sorunlarını, baskıları ve koruma yaklaşımlarını ortaya koymaktadır?
AS4	Alanya Tarihi Kent Merkezi'nin mimari ve kentsel korunması açısından hangi araştırma boşlukları bulunmaktadır?

2. YÖNTEM VE VERİ TOPLAMA SÜRECİ

Bu çalışma, Alanya Tarihi Kent Merkezi'nin korunması, turizm baskısı altında geçirdiği dönüşüm ve kentsel kimlik bağlamındaki akademik birikimi şeffaf, tekrarlanabilir ve nesnel bir

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

çerçevede incelemek üzere Sistematik Literatür Taraması (Systematic Literature Review - SLR) metodolojisiyle tasarlanmıştır. PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) kılavuz ilkelerinden esinlenerek oluşturulan bu süreç; veri tabanı taraması, tarama kriterlerinin belirlenmesi, ilk havuzun oluşturulması ve kartopu (snowballing) yöntemiyle literatürün derinleştirilmesi olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Arama stratejisi kapsamında ulusal ve uluslararası indekslerde taranan Scopus, Web of Science (WoS), TR Dizin, Dergipark ve Google Scholar veri tabanları kullanılmıştır. Tarama sürecinde "Alanya", "Alanya Tarihi Kent Merkezi", "Alanya Kalesi", "Kültürel Miras", "Kentsel Koruma", "Yeniden İşlevlendirme", "Turizm Baskısı" ve "Kentsel Değişim" anahtar kelimeleri ve bunların İngilizce karşılıkları Boolean operatörleriyle (AND, OR) kombinlenerek taranmıştır. Veri tabanı taramaları sonucunda elde edilen ham veri havuzu, belirlenen katı dahil etme ve dışlama kriterlerine tabi tutulmuştur. Bu doğrultusunda, çalışmanın metodolojik sınırlarını çizen kriterler Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5'te detaylandırılmıştır.

Çizelge 3. Sistematik Literatür Tarama Süreci Veritabanı Arama ve Sonuç Matrisi (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

Veritabanı / Kaynak	Arama Stratejisi / Anahtar Kelimeler	Ulaşılan Ham Kayıt Sayısı	Dahil Edilen Birincil Kayıt (İlk Havuz)	Mükerrer Olmayan (Tekil) Katkı
Scopus	("Alanya" AND "historic center") OR ("Alanya Castle" AND "heritage conservation")	336	14	9
Web of Science (WoS)	("Alanya" AND "urban conservation") OR ("Alanya" AND "tourism impact")	282	11	7
TR Dizin	("Alanya" AND "koruma") OR ("Alanya" AND "tarihi kent") OR ("Geleneksel Alanya evleri")	437	13	10
Dergipark	("Alanya Tarihi Kent") OR ("Alanya Kalesi koruma") OR ("Alanya mimari doku")	571	21	12
Google Scholar	"Alanya tarihi kent merkezi" + "koruma" + "turizm" (İlk 100 sonuç)	2000	6	5
Toplam		3626	65	43

Alanya tarihi kent merkezine yönelik yapılan sistematik tarama sürecini ve bu süreçte elde edilen verilerin veritabanlarına göre dağılımı Çizelge 3'te ortaya konulmaktadır. Tarama sonucunda toplam 3.626 ham kayda ulaşılmış, bu havuzdan ön incelemeyle seçilen 65 birincil kayıt detaylı inceleme için ayrılmıştır. Farklı akademik indekslerin taranmasından ötürü ortaya çıkan mükerrer (tekrar eden) kayıtların ayıklanması süreci tablonun netleşmesini sağlamıştır. Veritabanları arası çakışan 22 yayının çıkarılmasıyla birlikte, çalışmanın ana analiz havuzunu oluşturan 43 tekil (özgün) kaynak belirlenmiştir. Veritabanı bazlı incelendiğinde, en yüksek ham kayıt sayısına 2.000 sonuç ile Google Scholar ulaşırken, birincil havuzda en fazla katkıyı 21 kayıt ile Dergipark sağlamıştır. Benzer şekilde, ilk havuzdaki 65 kayıttan en yüksek net (mükerrer olmayan) katkıyı 12 kaynak ile yine Dergipark sunmuş, onu sırasıyla TR Dizin (10) ve Scopus (9) takip etmiştir. Bu dağılım, ulusal tabanlı indekslerin (Dergipark ve TR Dizin) bölge odaklı çalışmalarda uluslararası indekslere kıyasla daha zengin ve özgün materyal sunduğunu göstermektedir. İlk arama havuzunun oluşturulmasında ve sonrasındaki

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

tarama sürecinde esas alınan nitel ölçütler, çalışmanın geçerliliğini korumak amacıyla iki temel kategoride (dahil etme ve dışlama) formüle edilmiştir:

Çizelge 4. Sistematik Literatür Taraması Dahil Etme Kriterleri (D1–D9) (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

Kod	Dahil etme kriteri
D1	Alanya'yı çalışma alanı veya araştırma bağlamı olarak ele alması
D2	Alanya'nın tarihi, kültürel, mimari, kentsel, arkeolojik veya geleneksel değerleriyle ilişkili olması
D3	Tarihi kent merkezi, tarihi çevre, kentsel doku, mimari miras, kültürel miras veya koruma konularından en az birini ele alması
D4	Koruma, restorasyon, rehabilitasyon, yeniden işlevlendirme, miras yönetimi veya benzeri bir koruma yaklaşımı içermesi
D5	Turizm veya kentsel gelişme konusunu ele alıyorsa bunun tarihi çevre, miras, kentsel doku veya koruma ile ilişkili olması
D6	Hakemli akademik makale olması
D7	Tam metnine erişilebilen çalışma olması
D8	Türkçe veya İngilizce yayımlanmış olması
D9	Araştırma sorularımızdan en az birine katkı sağlayabilecek ampirik, teorik veya metodolojik bilgi içermesi

Çizelge 5. Sistematik Literatür Taraması Dışlama Kriterleri (E1–E10) (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

Kod	Dahil etmeme kriteri
E1	Alanya yalnızca ikincil/karşılaştırmalı bir referans olarak geçiyorsa
E2	Çalışmanın konusu tarihi, kültürel, mimari veya kentsel mirasla ilişkili değilse
E3	Yalnızca turizm, pazarlama, ekonomi, tüketici davranışı vb. konularını ele alıyor ve koruma/miras bağlantısı kurmuyorsa
E4	Yalnızca doğal çevre, ekoloji, tarım, biyoloji vb. konularında olup kültürel/tarihî çevreyle ilişkili değilse
E5	Yalnızca arkeolojik bir buluntu/nesne hakkında olup tarihi kent/kültürel miras/koruma bağlamına katkı sağlamıyorsa
E6	Haber, gazete yazısı, blog, tanıtım metni, konferans duyurusu vb. akademik çalışma değilse
E7	Aynı çalışmanın mükerrer kaydı varsa
E8	Tam metnine ulaşılamıyorsa
E9	Türkçe veya İngilizce dışında bir dildeyse
E10	Başlık/özet/anahtar kelimelerde Alanya ile ilişkili görünmesine rağmen tam metin incelemesinde araştırma alanımızla ilişkisi bulunmuyorsa

3. BULGULAR

Bu bölümde, sistematik literatür taraması ve kartopu yöntemiyle ulaşılan kaynaklar; çalışmanın kavramsal omurgasını oluşturan dört temel tematik grup (G1: Alan/Yer, G2: Miras/Mimarlık, G3: Koruma, G4: Turizm/Kentsel Değişim) temelinde kategorize edilmiştir. Analiz, her bir kaynağın odak noktasını, ele aldığı temayı, metodolojik yaklaşımını ve mevcut literatürdeki kısıtlılıklarını şeffaf bir matris formatında ortaya koymaktadır.

Sistematik literatür taramasının ilk aşamasında doğrudan tespit edilen birincil kaynaklar ile kartopu yöntemiyle (snowballing) sisteme entegre edilen ikincil kaynakların tamamı (toplam 43 kaynak), Alanya Tarihi Kent Merkezi'ne yönelik akademik üretimin odağını ve sınırlarını ortaya koymaktadır. G1, G2, G3 ve G4 tematik grupları altında incelenen bu kaynakların matrisel dökümleri; sahadaki

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

koruma sorunlarının belirli akslarda kümelendiğini ve literatürün metodolojik açıdan bazı kritik kör noktalar barındırdığını göstermektedir. Bu doğrultuda elde edilen bulgular, iki aşamalı bir evrimle (ilk tarama havuzu ve kartopu eklemeleri dahil genişletilmiş havuz) aşağıda çizelgeler halinde sunulmuştur:

Çizelge 14. Alanya Tarihi Kent Merkezi'ndeki Koruma Sorunları, Baskılar ve İlgili Literatür (AS3) İlk Tarama (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

No	Alanya Tarihi Kent Merkezindeki Koruma Sorunları ve Baskılar	Problemin Bahsedildiği / Vurgulandığı Yayınlar
1	Kitle turizminin yarattığı yoğun baskı, ziyaretçi yığılmaları ve turizmin mekansal/ekonomik etkileri	Yıldız ve Doğan (2011), Tülek ve Atik (2014), Hamamcıoğlu ve Kerestecioğlu (2007)
2	Geleneksel konutların yeniden işlevlendirilmesi (adaptive reuse) sürecinde yaşanan özgünlük kayıpları	Arı Akman ve Çelebi Karakök (2025), Çelebi Karakök ve Arı (2021), Eraslan (2020)
3	Koruma amaçlı imar planlarının uygulamadaki yetersizlikleri, rant odaklı esnetilmeleri ve morfolojik bozulmalar	Güleç Demirel ve Gökçe (2023)
4	Yerel yönetimlerin ve idari mekanizmaların denetim, planlama ve koruma süreçlerindeki eksiklikleri	Hamamcıoğlu ve Kerestecioğlu (2007)
5	Tarihi sokak dokusunda, cephelerde, çıkmalarda ve mimari elemanlarda (malzeme/detay) yaşanan dönüşüm ve tahribatlar	Halaç ve Demir (2017), Yılmaz Erkovan ve Arı (2018), Yılmaz Erkovan ve Özgenel (2024)
6	Tarihi kentsel peyzajın, surların, liman bütünlüğünün ve kıyı dokusunun modern yapılaşmalarla bozulması	Tülek ve Atik (2014), Hamamcıoğlu ve Kerestecioğlu (2007)

İlk tarama aşamasında elde edilen verileri özetleyen Çizelge 14, Alanya Tarihi Kent Merkezi'ne yönelik akademik yazının temel koruma sorunlarını altı ana eksende topladığını göstermektedir. Bu matrisin ortaya koyduğu en temel eğilim, sorunların münferit yapı bazlı olmaktan ziyade makro düzeyde turizm baskısı ve idari-planlama zafiyetleri ile mikro düzeyde mimari/dokusal tahribatlar arasında ikiye bölündüğüdür. Turizm ve yapısal dönüşüm baskısı ekseninde, tablonun birinci ve ikinci sırasında yer alan kitle turizmi yığılmaları ile geleneksel konutlardaki yeniden işlevlendirme sorunları, tarihi kentin ekonomik ve işlevsel bir kabuk değişimine zorlandığını kanıtlamaktadır. Yazarların (örneğin Yıldız ve Doğan, 2011; Arı Akman ve Çelebi Karakök, 2025) vurguladığı bu süreç, konut dokusunun özgün kullanım amacından uzaklaşarak ticarilaşma eğilimine girdiğini göstermektedir. Yasal ve idari tıkanıklıklar yönünden, üçüncü ve dördüncü sıradaki koruma amaçlı imar planlarının rant odaklı esnetilmesi ile idari denetim eksiklikleri, yasal mevzuatların kağıt üzerindeki koruma iddiası ile sahadaki pratik uygulama gerçeği arasında derin bir uçurum bulunduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır. Mekansal ve mimari bütünlük kayıpları açısından, beşinci ve altıncı sırada yer alan cephe, sokak dokusu ve kıyı/sur peyzajı bozulmaları, tarihi yarımadanın hem siluet hem de malzeme detay bazında fiziksel bütünlüğünü kaybetmeye başladığının ilk tarama havuzundaki somut kanıtlarıdır.

Çizelge 15. Mevcut Literatürdeki Metodolojik ve Kavramsal Kısıtlılıklar / Araştırma Boşlukları (AS4) İlk Bulgular (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

No	Literatürdeki Metodolojik ve Kavramsal Kısıtlılıklar / Araştırma Boşlukları	İlgili Yayınlar
1	Çalışmaların makro düzeyde (tarihi coğrafya, arşiv incelemeleri) ya da mikro düzeyde (tekil	Arı Akman ve Çelebi Karakök (2025), Bakırer (2020; 2023), Bilici (2005),

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

	yapı, malzeme, seramik, sikke, cam, kemik, yazıt) kalıp, kentsel dokuyu bütüncül ve katmanlı olarak ele almaması	Budak (2016), Ceylan (2021), Çelebi Karakök ve Arı (2021), Dağgülü (2009), Gönüllü (2018), Hacıgökmen (2024), Halaç ve Demir (2017), Kiourtzian (2012), Mason (1989), Oral (2014), Tıgrel (1975), Turgut (2021), Yalman (2012 - liste dışı ancak referansla), Yılmaz Erkovan ve Arı (2018), Yılmaz Erkovan ve Özgenel (2024), Yıldızlı (2024)
2	Plan kararlarının, koruma modellerinin ve yasal mevzuatların teorik düzeyde veya kağıt üzerinde kalması; sahadaki hukuki, idari ve pratik uygulama başarısızlıklarının nicel ya da nitel yöntemlerle test edilmemiş olması	Eraslan (2020), Güleç Demirel ve Gökçe (2023)
3	Turizm ve koruma dengesi incelenirken ağırlıklı olarak fiziksel tahribatlara odaklanılması; yerel halkın sosyo-ekonomik dönüşümünün, mülkiyet değişimlerinin ve toplumsal doku kayıplarının ihmal edilmesi	Yıldız ve Doğan (2011)
4	Tarihi sokakların, çıkmazların ve kamusal alanların yürünebilirlik, yaya deneyimi, topoloji ve kentsel tasarım verileriyle desteklenen mekansal analizlerden yoksun olması	Yılmaz Erkovan ve Özgenel (2024)

Çizelge 15'te somutlaştırılan ilk taramalar, Alanya Tarihi Kent Merkezi üzerine üretilen akademik bilginin sahip olduğu metodolojik ve kapsamsal kısıtlılıkların temel hatlarını gözler önüne sermektedir. Bu matris, literatürün tarihsel derinlik ve malzeme bilgisi üretme konusunda oldukça zengin bir birikime sahip olmasına karşın, kentsel dokunun okunmasında belirgin yapısal kör noktalar barındırdığını kanıtlamaktadır. Ölçek ve katman kopukluğu ekseninde, tablonun birinci sırasında yer alan ve en kalabalık yazar havuzuna sahip olan bu kısıtlılık, çalışmaların ya çok makro ölçekte (tarihi coğrafya, arşivler) ya da çok mikro düzeyde (tekil konut, seramik, sikke, yazıt vb.) kümelendiğini göstermektedir. Bu durum, sur içi ve sur dışı ilişkilerini, mahalle dokusunu ve coğrafi katmanları birbirine bağlayan bütüncül bir kentsel okumanın ilk tarama havuzunda eksik kaldığını açıkça ortaya koymaktadır. Teori-pratik uçurumu yönünden, ikinci sıradaki kısıtlılık, koruma amaçlı imar planlarının ve yasal mevzuatların kağıt üzerindeki teorik kusursuzluğunun, sahadaki hukuki ve idari başarısızlıklarla nicel veya nitel yöntemler üzerinden yeterince test edilmediğini göstermektedir. Yazarların işaret ettiği bu boşluk, yasal denetim mekanizmalarının somut verilerle eleştirel bir süzgeçten geçirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Sosyo-ekonomik boyutun ihmali açısından, üçüncü sıradaki kısıtlılık, turizm-koruma ilişkisinin çoğunlukla fiziksel yıpranmalar üzerinden okunduğunu; yerel halkın sosyo-ekonomik dönüşümleri, mülkiyet el değiştirmeleri ve toplumsal doku kayıplarının ilk tarama havuzunda arka plana itildiğini doğrulamaktadır. Mekansal ve tasarım odaklı analiz eksikliği yönünden, dördüncü sıradaki eksiklik, tarihsel sokak dokusunun, çıkmazların ve kamusal alanların yürünebilirlik, yaya deneyimi ve kentsel tasarım araçlarıyla desteklenen mekansal analizlerden mahrum olduğunu teyit etmektedir. Bu durum, literatürün gelecekteki çalışmalar için en kritik metodolojik açığını teşkil etmektedir.

Çizelge 16. Alanya Tarihi Kent Merkezi'ndeki Koruma Sorunları, Baskılar ve İlgili Literatür (Kartopu / Snowballing Eklemeleri Dahil AS3) (Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.)

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

No	Alanya Tarihi Kent Merkezindeki Koruma Sorunları ve Baskılar	Problemin Bahsedildiği / Vurgulandığı Yayınlar
1	Kitle turizminin yarattığı yoğun baskı, ziyaretçi yığılmaları ve turizmin mekansal/ekonomik etkileri	Çakmak ve Yıldırım (2020), Çetin ve Okumuş (2020), Demirtaş ve Akın (2021), Gündüz ve Bozkurt (2021), Küçük ve Demirtaş (2021), Öztürk ve Yıldız (2020), Taşkın ve Karahan (2022), Taşkın ve Uysal (2018), Tülek ve Atik (2014), Yıldız ve Doğan (2011), Yıldırım ve Çelik (2020), Yılmaz ve Gül (2022)
2	Geleneksel konutların yeniden işlevlendirilmesi (adaptive reuse) sürecinde yaşanan özgünlük kayıpları	Çelebi Karakök ve Arı (2021), Tülek (2023)
3	Koruma amaçlı imar planlarının uygulamadaki yetersizlikleri, rant odaklı esnetilmeleri ve morfolojik bozulmalar	Demirtaş (2019), Demirtaş ve Akın (2021), Öztürk ve Yıldız (2020), Yıldırım ve Çelik (2020)
4	Yerel yönetimlerin ve idari mekanizmaların denetim, planlama ve koruma süreçlerindeki eksiklikleri	Çakmak ve Yıldırım (2020), Küçükaltan (2018)
5	Tarihi sokak dokusunda, cephelerde, çıkmalarda ve mimari elemanlarda (malzeme/detay) yaşanan dönüşüm ve tahribatlar	Halaç ve Demir (2017), Yılmaz Erkovan ve Arı (2018)
6	Tarihi kentsel peyzajın, surların, liman bütünlüğünün ve kıyı dokusunun modern yapılaşmalarla bozulması	Güler ve Taşkın (2020), Tülek ve Atik (2014), Türk ve Seydioğulları (2018), Yıldırım ve Aksoy (2020), Tülek (2023)

Kartopu (snowballing) yöntemiyle ikincil kaynakların sisteme entegre edilmesiyle oluşturulan Çizelge 16, Alanya Tarihi Kent Merkezi'ne yönelik akademik yazının koruma sorunları ekseninde nasıl genişlediğini ve derinleştiğini somut bir şekilde ortaya koymaktadır. İlk taramada daha sınırlı bir yazar havuzuyla temsil edilen problem başlıkları, bu aşamada çok daha zengin bir kaynak çeşitliliğiyle desteklenmiştir. Turizm baskısının genişleyen ağları ekseninde, tablonun birinci sırasında yer alan kitle turizmi ve ziyaretçi yığılmaları, kartopu eklemeleriyle birlikte (Çakmak ve Yıldırım, 2020; Çetin ve Okumuş, 2020; Demirtaş ve Akın, 2021 vb.) literatürün en baskın ve en kalabalık yazar havuzuna sahip ortak paydası haline gelmiştir. Bu durum, araştırmacıların Alanya'daki kentsel bozulmayı doğrudan turizm ekonomisinin mekansal yansımaları üzerinden okuma eğiliminde katlanarak birleştiğini göstermektedir. Yeniden işlevlendirme ve idari tıkanıklıkların çeşitlenmesi yönünden, ikinci ve üçüncü sıralarda yer alan geleneksel konut dönüşümleri (Tülek, 2023) ile imar planı esnetilmelerinin ve rant odaklı kararların (Demirtaş, 2019; Öztürk ve Yıldız, 2020) yeni kaynaklarla desteklenmesi, bu sorunların münferit vakalar olmadığını, kentin bütününe yayılmış kronik birer kentsel dönüşüm krizi olduğunu kanıtlamaktadır. Peyzaj ve kıyı dokusu kayıplarının teyidi açısından, altıncı sırada yer alan surlar, liman bütünlüğü ve kıyı peyzajına yönelik modern yapılaşma baskılarının yeni çalışmalarla (Güler ve Taşkın, 2020; Türk ve Seydioğulları, 2018; Tülek, 2023) güçlendirilmesi, tarihi yarımadanın siluet bütünlüğünün çok yönlü ve kalıcı bir tehdit altında olduğunu açıkça doğrulamaktadır.

Çizelge 17. Kartopu Yöntemi (Snowballing) İle Genişletilen Mevcut Literatürdeki Metodolojik ve Kapsamsal Kısıtlılıklar / Araştırma Boşlukları (AS4)

No	Literatürdeki Metodolojik ve Kapsamsal Kısıtlılıklar / Araştırma Boşlukları	İlgili Yayınlar

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

1	Çalışmaların makro düzeyde (tarihi coğrafya, arşiv incelemeleri) ya da mikro düzeyde (tekil yapı, malzeme, seramik, sikke, yazıt) kalıp, kentsel dokuyu bütüncül ve katmanlı olarak ele almaması	Ceylan (1997), Ceylan (2021), Gürbüz (2001), Levanten (1978), Özcan (2004), Şener (1976), Tandoğan (2021), Yalman (2012), Yılmaz Erkovan ve Arı (2018)
2	Plan kararlarının, koruma modellerinin ve yasal mevzuatların teorik düzeyde veya kağıt üzerinde kalması; sahadaki hukuki, idari ve pratik uygulama başarısızlıklarının nicel ya da nitel yöntemlerle test edilmemiş olması	Demirtaş (2019), Küçükaltan (2018), Taşkın ve Uysal (2018), Yıldırım ve Aksoy (2020), Yılmaz ve Gül (2022)
3	Turizm ve koruma dengesi incelenirken ağırlıklı olarak fiziksel tahribatlara odaklanılması; yerel halkın sosyo-ekonomik dönüşümünün, mülkiyet değişimlerinin ve toplumsal doku kayıplarının ihmal edilmesi	Çetin ve Okumuş (2020), Küçük ve Demirtaş (2021), Taşkın ve Karahan (2022), Yıldız ve Doğan (2011)
4	Tarihi sokakların, çıkmazların ve kamusal alanların yürünebilirlik, yaya deneyimi, topoloji ve kentsel tasarım verileriyle desteklenen mekansal analizlerden yoksun olması	Nazifoğlu ve Birer (2019), Türk ve Seydioğulları (2018)

Kartopu yöntemiyle genişletilen ikincil kaynak havuzu üzerinden oluşturulan Çizelge 17, Alanya Tarihi Kent Merkezi literatürünün metodolojik ve kapsamsal kısıtlılıklarının ne denli köklü ve yaygın bir akademik açmaza işaret ettiğini açıkça gözler önüne sermektedir. İlk tarama matrisindeki (Çizelge 14) teorik tespitler, bu aşamada çok daha geniş bir yazar katılımıyla doğrulanmış ve derinleştirilmiştir. Ölçek ve katman kopukluğu ekseninde, tablonun birinci sırasında yer alan ve Ceylan (1997, 2021), Gürbüz (2001), Şener (1976) gibi tarihsel/arşivsel kaynaklarla zenginleşen bu kısıtlılık, akademik üretimin kronolojik derinliğe odaklanırken kentsel dokunun katmanlar arası bütünlüğünü kurmakta sistemli bir zorluk yaşadığını kanıtlamaktadır. Teori-pratik uçurumu yönünden, ikinci sıradaki kısıtlılığın Demirtaş (2019), Küçükaltan (2018), Yılmaz ve Gül (2022) gibi idari ve planlama odaklı yayınlarla desteklenmesi; koruma amaçlı imar planlarının sahadaki uygulama başarısızlıklarının münferit birer istisna değil, yönetsel mekanizmaların kronik birer açmazı olduğunu teyit etmektedir. Sosyo-ekonomik boyutun ihmali açısından, üçüncü sıradaki eksikliğin Çetin ve Okumuş (2020), Küçük ve Demirtaş (2021), Taşkın ve Karahan (2022) gibi yeni referanslarla kalabalıklaşması; turizm-koruma tartışmalarının fiziksel kabukla sınırlı kalıp mülkiyet değişimi ve toplumsal doku kaybı gibi insan odaklı dinamikleri ıskaladığını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Mekansal ve tasarım odaklı analiz eksikliği yönünden, dördüncü sıranın Nazifoğlu ve Birer (2019) ile Türk ve Seydioğulları (2018) çalışmalarıyla genişletilmesi; tarihi dokunun yürünebilirlik, yaya deneyimi ve kentsel tasarım verileriyle okunmasının literatür genelinde en az çalışılan ama en çok ihtiyaç duyulan metodolojik boşluk olduğunu kesinleştirmektedir.

4. TARTIŞMA

Sistematik literatür taraması ve kartopu eklemeleriyle ulaşılan 43 kaynağın tematik gruplar ve sentez matrisleri temelinde ortaya koyduğu veriler, Alanya Tarihi Kent Merkezi üzerine yapılan akademik üretimin genel karakterini ve sınırlarını gözler önüne sermektedir. Araştırmanın temel ve alt soruları (AS1-AS4) ışığında yürütülen bu eleştirel süzgeç, taranan literatürün kendi içindeki tutarlılıklarını, kör noktalarını ve disipliner açmazlarını doğrudan ana araştırma sorusuna yanıt olacak şekilde yapılandırmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Alanya Tarihi Kent Merkezi'ne yönelik akademik çalışmaların genel profili incelendiğinde (AS1 ve AS2), üretimin belirli akslarda yoğunlaştığı görülmektedir. Bir yanda Helenistik dönemden Selçuklu ve Osmanlı'ya uzanan tarihi coğrafya, idari arşivler, seramik, sikke, kitabe okumaları ve makro/mikro ölçekli tarih yazımları yer alırken; diğer yanda tekil konut analizleri, malzeme incelemeleri ve kültürel miras bileşenleri bulunmaktadır. Bu durum, tarihsel derinliğin ve dönemsel maddi kültür kalıntılarının başarıyla belgelendiğini ancak kentsel dokunun sur içi ve sur dışı ilişkilerini bütüncül bir akışta ele veren ara kademe ölçek çalışmalarının eksik olduğunu göstermektedir.

Çizelge 13 ve Çizelge 15'te somutlaştırılan koruma sorunları ve baskılar (AS3), sahadaki pratiklerin teorik çerçevelerle nasıl çeliştiğini açıkça ortaya koymaktadır. Her iki çizelgede de ortaklaşa vurgulanan yoğun ziyaretçi yığılmaları ve mevsimsel dalgalanmalar (Çakmak ve Yıldırım, 2020; Yıldız ve Doğan, 2011; Çetin ve Okumuş, 2020), turizmin yalnızca fiziksel bir tahribat unsuru olmadığını; yerel halkın sosyo-ekonomik yapısını, mülkiyet el değiştirmelerini ve soylulaştırma süreçlerini tetikleyen dönüştürücü bir güç olduğunu göstermektedir. Geleneksel konutların turistik yeme-içme mekanlarına ya da pansiyonlara dönüştürülmesi, bölgeyi yaşayan bir mahalle olmaktan çıkarıp turizm sahnesine dönüştürmektedir. Bununla birlikte, koruma amaçlı imar planlarının ve yasal mevzuatların kağıt üzerinde kusursuz görünmesine rağmen sahada tıkandığı (Demirtaş, 2019; Güleç Demirel ve Gökçe, 2023), bu durumun yerel yönetimlerin yetki karmaşaları ve rant odaklı arsa değer artışlarından kaynaklandığı literatürde ortak bir payda olarak öne çıkmaktadır. Mevcut yasal mekanizmalar, kurullardan geçen kararların esnetilmesini ve cephe dönüşümlerini denetlemede yetersiz kalırken; tarihi sokak dokusunda, çıkmalarda, surlarda ve kıyı peyzajında yaşanan modern yapılaşma baskıları (Tülek ve Atik, 2014; Türk ve Seydioğulları, 2018; Güler ve Taşkın, 2020) koruma ilkelerinin makro ölçekte korunamadığının en somut kanıtını oluşturmaktadır.

Çizelge 14 ve Çizelge 16'da listelenen araştırma boşlukları (AS4), literatürün yapısal kör noktalarını işaret etmektedir. Çalışmaların makro ve mikro kutuplara sıkışması bütüncül bir kentsel doku okumasını engellerken, turizm-koruma dengesi kurulurken olgunun salt fiziksel tahribatlarla sınırlandırılması mülkiyet değişimleri ve toplumsal doku kayıplarının arka plana itilmesine neden olmaktadır. Nazifoğlu ve Birer (2019) ile Türk ve Seydioğulları (2018) ekseninde, Çizelge 14 ve 16'da da teyit edildiği üzere, Alanya'nın dar sokaklarının, çıkmazlarının ve kamusal alanların yürünebilirlik, yaya deneyimi ve kentsel tasarım verileriyle desteklenen mekansal analizlerden yoksun olması büyük bir metodolojik eksikliktir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Alanya Tarihi Kent Merkezi üzerine üretilen akademik literatürün tematik eğilimlerini, mimari ve kültürel değerlerini, koruma sorunlarını ve araştırma boşluklarını bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koymayı amaçlayan bu sistematik literatür taraması (SLR), 43 nitelikli kaynağın sentezine dayanmaktadır. Ana araştırma sorusuna ve alt sorulara (AS1-AS4) yanıt arayan bu süreç; bölgeye yönelik akademik üretimin güçlü yönlerini ortaya koyarken, sahadaki pratiklerle teorik kabuller arasındaki derin kırılma noktalarını net bir şekilde gözler önüne sermiştir. Araştırma bulguları ve yürütülen tartışmalar ışığında ulaşılan temel sonuçlar şu şekildedir:

Tematik ve Dönemsel Odaklar (AS1-AS2): Alanya Tarihi Kent Merkezi'ne yönelik çalışmaların tematik olarak Helenistik döneme, Selçuklu-Osmanlı idari arşivlerine ve tekil yapı/malzeme ölçeğindeki arkeolojik/kültürel miras bileşenlerine odaklandığı; ancak bu

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

katmanları kentsel doku bütününde birleştiren ara kademe ölçek çalışmalarının sınırlı kaldığı tespit edilmiştir.

Koruma Sorunları ve Baskı Mekanizmaları (AS3): Literatürün ortak paydasını oluşturan kitle turizmi, mevsimsel dalgalanmalar ve ziyaretçi yığılmaları, yalnızca fiziksel bir yıpratıcı unsur değil; aynı zamanda mülkiyet el değiştirmelerini, soylulaştırma süreçlerini ve geleneksel konutların turistik yeme-içme mekanlarına dönüşümünü tetikleyen yapısal birer dönüşüm mekanizması olarak öne çıkmaktadır. Koruma amaçlı imar planlarının ise yerel yönetimlerin yetki karmaşaları ve rant odaklı arsa değer artışları nedeniyle sahada uygulanamadığı sonucuna varılmıştır.

Metodolojik Kör Noktalar ve Araştırma Boşlukları (AS4): Mevcut çalışmaların ağırlıklı olarak fiziksel tahribatlara odaklanıp yerel halkın sosyo-ekonomik dönüşümünü ve toplumsal doku kayıplarını ihmal ettiği görülmüştür. Ayrıca, Alanya'nın tarihi sokak dokusunun, çıkmazlarının ve kamusal alanlarının yürünebilirlik, yaya deneyimi ve kentsel tasarım araçlarıyla desteklenen mekansal analizlerden yoksun olması literatürün en kritik metodolojik açığını oluşturmaktadır.

Sonuç olarak; bu sistematik tarama, Alanya Tarihi Kent Merkezi üzerine çalışacak araştırmacılara, koruma uzmanlarına ve karar vericilere rehber niteliğinde bir yol haritası sunmaktadır. Gelecekteki akademik çalışmaların; makro ve mikro ölçekleri bütünleştiren kentsel tasarım yaklaşımlarına, turizmin sosyo-ekonomik ve soylulaştırma boyutlarına, idari denetim mekanizmalarının etkinliğine ve yaya odaklı mekansal analiz yöntemlerine ağırlık vermesi, tarihi kent merkezinin sürdürülebilir koruması açısından hayati önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Arı, N. G. & Çelebi Karakök, M. E., A Fuzzy–AHP model for quantifying authenticity loss in adaptive reuse: A sustainable heritage approach based on traditional houses in Alanya, Sustainability, 17(23), Article 10519, 2025. https://doi.org/10.3390/su172310519
[2] Arı, N. G. & Çelebi Karakök, M. E., Yeniden İşlevlendirme Uygulamalarında Özgünlük Kayıplarının Araştırılması: Geleneksel Alanya Konutları Örneği, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9, 1802–1825, 2021. https://doi.org/10.29130/dubited.910812
[3] Akman, N. G., Yeniden İşlevlendirme Uygulamalarında Özgünlük Kayıplarının Araştırılması: Geleneksel Alanya Konutları Örneği, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 2024.
[4] Aytek, A. İ., Yavuz, A. Y., Sarıtaş, Ö. & Durna, S., Alanya Kalesi'nde Bir Osmanlı Yapısı: Arasta Kazılarından Çıkarılan İnsan ve Hayvan Kemiklerinin Osteoarkeolojik Analizi, MASROP E-Dergi, 19(2), 1–16, 2025. https://izlik.org/JA28NU84PK
[5] Bakırer, Ö., Alanya Selçuklu Sarayı Cam Buluntuları, Journal of Palmette, 3, 1–27, 2023. https://izlik.org/JA95NJ53RY
[6] Bakırer, Ö., Window glass from the excavations in the Seljuk Palace at Alanya, Adalya, 23, 257–278, 2020. https://doi.org/10.47589/adalya.838099
[7] Bilici, S., A group of glazed pottery from dockyards and Red Tower area in Alanya, Adalya, 8, 329–349, 2005.
[8] Budak, M. A., İbn Battuta ve El-Ömeri'nin Anlatımıyla Geç Ortaçağ'da Antalya ile Alanya, Cedrus, 4, 353–372, 2016. https://doi.org/10.13113/CEDRUS/201621
[9] Ceylan, M. A., Selçuklu döneminde Alanya şehrinin fonksiyon özellikleri, Doğu Coğrafya Dergisi, 26(46), 211–228, 2021. https://doi.org/10.17295/ataunidcd.1014757

[10] Ceylan, O., Geleneksel Alanya Evleri, Art Decor, 57, 76–87, 1997.
[11] Çakmak, E. & Yıldırım, B., Alanya'da kültürel mirasın korunması ve turizm: Yerel yönetimlerin rolü, Kent ve Kültür Dergisi, 6(3), 87–104, 2020.
[12] Çetin, G. & Okumuş, F., Kent merkezinde turizm ve yerel halkın uyumu: Alanya örneği, Sosyal Bilimler Dergisi, 18(2), 78–92, 2020.
[13] Dağgülü, İ. B., A 13th-century shipyard at Alanya (Alaiyye), on the Mediterranean coast of Turkey, International Journal of Nautical Archaeology, 38(2), 331–347, 2009. https://doi.org/10.1111/j.1095-9270.2008.00211.x
[14] Demirtaş, M., Alanya'da tarihî dokunun korunması: Sorunlar ve çözüm önerileri, Alanya Araştırmaları Dergisi, 5(3), 175–191, 2019.
[15] Demirtaş, M. & Akın, M., Alanya'daki tarihi yapılar ve turizm: Koruma politikalarının etkililiği üzerine bir araştırma, Alanya Araştırmaları Dergisi, 9(1), 58–73, 2021.
[16] Eraslan, Ş., Dünya Miras Alanlarında Özgünlük ve Bütünlük Üzerine Bir Değerlendirme: Göbeklitepe Arkeolojik Alanı ve Alanya Tarihi Kenti Örnekleri, Sanat Dergisi, 36, 51–62, 2020. https://doi.org/10.47571/ataunigsfd.786498
[17] Erkovan, N. Y. & Arı, N. G., Alanya Geleneksel Konutlarında Kapılar, Amisos, 3(5), 493–514, 2018. https://izlik.org/JA35XB84PR
[18] Gönüllü, A. R., Alanya Rüşdiye Mektebi (1861–1913), Erdem, 73, 65–88, 2018. https://doi.org/10.32704/erdem.471005
[19] Güleç Demirel, B. & Gökce, D., Morfolojik Dönem İncelemesi Yöntemi ile Koruma Amaçlı İmar Planlarının Etki Değerlendirmesi: Alanya Tarihi Sur İçi Tophane Mahallesi, Kent Akademisi, 16(4), 2519–2537, 2023. https://doi.org/10.35674/kent.1294759
[20] Güler, T. & Taşkın, E., Alanya'da tarihi peyzaj dokusunun korunması: Kale bölgesi örneği, Tarih ve Peyzaj Çalışmaları Dergisi, 7(3), 190–205, 2020.
[21] Gündüz, E. & Bozkurt, S., Turizm ve kültürel mirasın korunması arasındaki denge: Alanya örneği, Mimarlık ve Turizm Çalışmaları Dergisi, 22(1), 130–145, 2021.
[22] Gürbüz, A., XVI–XVII. yüzyıllarda Alâiye Kalesi, Selçuk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Dergisi, 10, 207–226, 2001.
[23] Hacıgökmen, M., Seljuk emirs involved in the construction of Alanya Castle, Selçuk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi, 52, 407–422, 2024.
[24] Halaç, H. & Demir, İ., Alanya Geleneksel Tophane Evlerinin Cephelerinde Mimari Eleman ve Malzemenin Dönüşümü, Art-e Sanat Dergisi, 10(20), 601–629, 2017. https://doi.org/10.21602/sduarte.338721
[25] Hamamcıoğlu, C. & Kerestecioğlu, F., The medieval harbours conserving their topographies in the Mediterranean and the environmental impacts of tourism: Alanya Hisarici District, Antalya Ickale District and Kyrenia Ancient Harbour District, Megaron, 2(2), 108–132, 2007.
[26] İbn Battuta, İbn Battuta Seyahatnamesi I (A. S. Aykut, Çev.), Yapı Kredi Yayınları, İstanbul, 2004.
[27] Kiourtzian, G., Expecting the Seljuks: An inscription from the walls of Alanya in Asia Minor dating to A.D. 1199 [Selçukluları beklerken: 1199'un Küçük Asya'sında Alanya surlarından bir yazıt], Adalya, 15, 219–227, 2012.
[28] Küçük, B. & Demirtaş, M., Alanya'daki kitlesel turizmin tarihi miras üzerindeki etkileri, Tarihsel Araştırmalar Dergisi, 22(1), 99–115, 2021.
[29] Küçükaltan, E. G., Tarihi mirasın korunmasında yerel yönetimlerin rolü: Alanya örneği, Mimarlık Koruma ve Restorasyon Dergisi, 17(2), 114–126, 2018.
[30] Konyalı, İ. H., Alanya (Alaiyye), Ayaydın Basımevi, İstanbul, 1946.
[31] Levante, E., The Coinage of Korakesion in Cilicia, The Numismatic Chronicle, 18, 24–32, 1978.

[32] Lloyd, S. & Storm Rice, D., Alanya (Alaiyye), Türk Tarih Kurumu, Ankara, 1964.
[33] Mason, R., The Medici-Lazara map of Alanya, Anatolian Studies, 39, 85–105, 1989. https://doi.org/10.2307/3642815
[34] Nazifoğlu, B. & Birer, E., Yürünebilirlik Deneyiminin Alanya Üzerinden Okunması, Uluslararası Hakemli Tasarım Mimarlık Dergisi, 17, 1–32, 2019.
[35] Oral, Ö., Alanya Kalesi kazılarında bulunan Avrupa porselenleri üzerine bazı değerlendirmeler, 2(3), 2014.
[36] Özcan, H. Ö., Alanya Kalesinde Üç Bizans Kilisesi, Atatürk Üniversitesi GSF Dergisi, 5, 69–71, 2004.
[37] Öztürk, M. & Yıldız, E., Alanya'da kültürel mirasın turizme entegrasyonu: Koruma politikaları ve uygulamalar, Turizm ve Kültürel Miras Dergisi, 8(1), 50–67, 2020.
[38] Redford, S., Landscape and Power in Early Islam: The Restructuring of Traditional Society in the Alanya Region, Edinburgh University Press, Edinburgh, 2013.
[39] Seydioğulları, S., Alanya, Alanya Ticaret ve Sanayi Odası, Alanya, 1991.
[40] Şener, H., Geleneksel Konutların Korunmasına Bazı Analitik Yaklaşımlar Örnek: Alanya'da Geleneksel Konutlar, İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Tarihi ve Restorasyon Enstitüsü Bülteni, 7(2), 2–10, 1976.
[41] Tandoğan, E., Alanya Hasbahçe; Bir Selçuklu Sultan Bahçesi Koruma Sürecinin Değerlendirilmesi, International Social Sciences Studies Journal, 2021.
[42] Taşkın, M. & Karahan, A., Alanya'da kent merkezinde turizmin mekânsal dağılımı ve sosyo-ekonomik etkileri, Turizm Araştırmaları Dergisi, 20(3), 215–230, 2022.
[43] Taşkın, M. & Uysal, M., Alanya'da koruma ve turizmin entegrasyonu: Bir model önerisi, Sosyal Bilimler ve Turizm Dergisi, 14(2), 212–225, 2018.
[44] Tıgrel, G., An Ancient Harbour in the District of Alanya, BELLETEN, 39(156), 629–632, 1975. https://doi.org/10.37879/belleten.1975.156-629
[45] Turgut, M., Roma Döneminde Alanya'nın Genel Görünümü, Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi, 8(4), 1884–1921, 2021. https://izlik.org/JA53HT54DT
[46] Tülek, B. & Atik, M., Walled towns as defensive cultural landscapes: A case study of Alanya–a walled town in Turkey, WIT Transactions on The Built Environment, 143, 231–242, 2014.
[47] Tülek, B., Authenticity in the cultural landscapes: Alanya Castle, Akdeniz University Journal of the Faculty of Architecture, 2, 122–137, 2023.
[48] Türk, A. & Seydioğulları, H. S., Kent Kimliğinin Kent Meydanlarına Yansıması: Alanya İskele-Rıhtım Bölgesi Örneği, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(Ek Sayı 1), 205–215, 2018.
[49] Yalman, S., Ala Al-Din Kayqubad illuminated: A Rum Seljuq sultan as cosmic ruler, Muqarnas, 29(1), 151–186, 2012.
[50] Yıldız, S. & Doğan, H., Turistlerin Alanya Kalesi'ne İlişkin Algı ve Değerlendirmelerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 2011(2), 119–124, 2011. https://izlik.org/JA23AR82CZ
[51] Yıldızlı, M., Bricks and roof tiles of Alanya Castle: Evaluation of animal footprints from an ichnoarchaeological perspective, Adalya, 27, 303–324, 2024.
[52] Yıldırım, B. & Çelik, İ., Kültürel mirasın korunması ve turizm: Alanya'daki koruma uygulamalarının değerlendirilmesi, Mimarlık ve Koruma Dergisi, 15(4), 225–240, 2020.
[53] Yıldırım, N. & Aksoy, S., Alanya'nın tarihi kentsel peyzajında koruma ve sürdürülebilirlik, Peyzaj ve Kentsel Tasarım Dergisi, 15(3), 85–100, 2020.
[54] Yılmaz Erkovan, N. & Özgenel, L., İç ve Dış Arasında: Alanya Geleneksel Konutlarının Sokak Uzantıları, Çıkmalar Üzerine Topolojik Bir Değerlendirme, TÜBA-KED Türkiye

Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi, 29, 11–28, 2024. https://doi.org/10.22520/tubaked.1188193

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASINDA YAPAY ZEKÂ KULLANIMI: EN SON GELİŞMELERİN İNCELENMESİ

Beyza Nur UZUN
Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Programı, Ankara, Türkiye
24831101012@gazi.edu.tr - 0009-0009-3874-9520
Nurbanu ÇEVİK
Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Mimarlık Programı, Ankara, Türkiye
24831101014@gazi.edu.tr - 0009-0002-9012-1465
Prof. Dr. Özlem SAĞIROĞLU DEMİRCİ
Gazi Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye
osagiroglu@gazi.edu.tr - 0000-0001-6708-3208

ÖZET

Yapay Zekâ teknolojilerindeki ilerlemelerle birlikte çok sayıda araştırmacı Yapay Zekâ tekniklerini Kültürel Miras ile ilişkili çeşitli görevlerin desteklenmesinde giderek artan şekilde uygulamaktadır. Bu derlemede Yapay Zekâ teknolojilerinin kullanıldığı çalışmalar özetlenmekte olup, Kültürel Mirasın korunması için uygulanan tekniklere odaklanılmaktadır. Web of Science veri tabanında 2025-2026 yılları arasında yayınlanan 250 yayın incelenmiş Kültürel Miras ve Yapay Zekâ kesişimindeki 88 vaka çalışması analize dahil edilmiştir. KM alanında YZ tekniklerinin kullanımına ilişkin temel araştırma alanları tarihi yapılarda bozulma tiplerinin belirlendiği hasarların ve çatlakların tespit edildiği çalışmalar, renk pigmentasyonunun doğru şekilde belirlenmesine ve duvar resimlerinin restorasyonuna yönelik çalışmalar, Kültürel Miras görüntülerinin mimari öğe olarak sınıflandırıldığı ve tarihi çevrede mimari tarz ve diğer kriterler odaklı değerlendirmelerin yapıldığı çalışmalar, Kültürel Miras alanı izleme çalışmaları, Kültürel Miras alanlarının 3 Boyutlu görüntülerinin ve 3B Nokta Bulutu ve diğer yöntemlerle Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi çalışmaları (HBIM), Kültürel Mirasın belgelenmesi ve önleyici korunması için Dijital İkiz ve simülasyon çalışmaları, Üretken Yapay Zekâ kullanılarak gerçekleştirilen Kültürel Miras rekonstrüksiyonu çalışmaları, Artırılmış ve Sanal Gerçeklik deneyimleri ile Kültürel Miras eğitiminde oyunlaştırarak

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

öğrenme ile ilgili çalışmalar, geçmiş bilgilerin sistemleştirildiği, tasnif edildiği ve uzmanların kullanımına sunulduğu çalışmalar ve de KM alanlarında YZ kullanımına yönelik kılavuz ve etik unsurların irdelendiği çalışmalar olmak üzere on alt başlıkta ele alınmıştır. Çalışma ayrıca literatürdeki çalışmaların yoğunlaştığı noktalar ve eksikliklerin belirlenmesine ışık tutmakla beraber bu konuda yapılacak gelecek çalışmalar için farkındalık oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Derin Öğrenme, Üretken Yapay Zekâ, Kültürel Mirasın Korunması, Dijital Miras Rekonstrüksiyonu

1. GİRİŞ

Kültürel Miras, toplumların geçmişini, kimliğini, estetik değerlerini ve tarihsel gelişimini yansıtan; gelecek nesillere aktarılmak üzere korunan paha biçilemez bir birikimidir. Tarihi yapılar, anıtlar ve sanat eserleri gibi somut miras unsurları, toplumların kültürel sembolleri nasıl inşa ettiğini ve sürdürdüğünü göstermesi bakımından büyük önem taşımaktadır [1]. Ancak bu varlıklar; doğal afetler, iklim değişikliği, çevresel yıpranma, insan kaynaklı tahribatlar ve zamana bağlı fiziksel bozulmalar nedeniyle sürekli tehdit altındadır [2]. Günümüzde hızlanan kentleşme ve küreselleşme karşısında, kültürel mirasın sürdürülebilir bir şekilde korunması, analiz edilmesi ve dijital olarak belgelenmesi için veri odaklı, yenilikçi ve ölçeklenebilir çözümlere olan ihtiyaç her zamankinden daha belirgin hale gelmiştir [3].

Manuel saha incelemelerine dayanan geleneksel koruma ve belgeleme yöntemleri yoğun emek gerektirmektedir. Tarihsel bağlamı anlamada derinlik sağlasa da öznellik, yavaşlık ve bazı durumlarda tutarsız belgeleme problemlerini beraberinde getirmektedir. Miras alanlarının korunmasını sağlamak için yenilikçi ve verimli teknolojileri alana entegre etmek zorunlu bir ihtiyaç haline gelmektedir. Yapay Zekâ teknolojileri bu sınırlılıklara çeşitli çözümler sunmaktadır. Araştırmalar önemli ölçüde gelişerek tarihi yapılarda bozulma tiplerinin ve hasarların otomatik tespitinden Miras alanı izleme çalışmalarına geniş bir yelpazede sunulmaktadır. Özellikle 3 boyutlu görüntülerin dijital olarak belgelenmesi adına Drone görüntüleri, LİDAR taramaları ve fotogrametri gibi görüntüleme yöntemlerini Yapay Zekâ teknolojileriyle pratik hale getiren çalışmalar belgeleme çalışmaları için umut vadeden çözümler sunmaktadır.

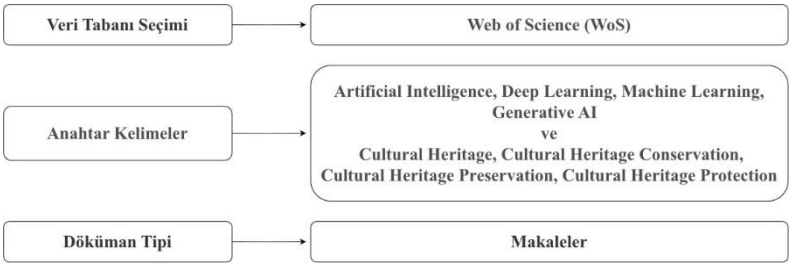
Kültürel Mirası korumada Yapay Zekâ teknolojilerinin uygulanması veri entegrasyonu, kaynakların birleştirilmesi, etik kaygılar dahil olmak üzere çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. En büyük sınırlılık ise miras alanlarındaki verilerin bölgeden bölgeye hatta bazen tekil yapılar arasında bile özgün durumları beraberinde getirmesiyle otomatik ve standart çözümlere gitmenin zor olmasıdır. Çoğu çalışmada araştırmacılar kendi özgün veri setini oluşturmak zorunda kalmıştır. Daha yakın dönemde bu sorunu çözmek adına bir kısmı politika belgeleri, literatürdeki bilgi, sosyal medya içerikleri ve görseller üzerinden bir veri kümesi oluşturma ve bu bilgilerin kullanıma sunulduğu çalışmalar dikkat çekicidir [78-85]. Kültürel Miras alanlarında üretilen çoğu zaman parçalı ve yapılandırılmamış bilgilerin tutarlı Bilgi Grafiklerine dönüştürülmesi gelecekte yapılacak çalışmalar için önem arz etmektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Çalışmada, Web of Science veri tabanındaki çalışmalardan elde edilen veriler sentezlenerek, Kültürel Mirasın korunmasında Yapay Zekâ kullanımının güncel durumunu, teknik metodolojilerini, uygulama alanlarını ve karşılaşılan etik-teknik sınırları bütüncül bir çerçevede incelemek amaçlanmaktadır

2. YÖNTEM

Bu çalışmada Kültürel Mirasın Korunması bağlamında Yapay Zekâ teknolojilerinin entegre edildiği Web of Science veri tabanındaki makaleler detaylıca incelenmiştir. Veri tabanındaki araştırma için "Yapay Zekâ" veya "Derin Öğrenme" veya "Makine Öğrenmesi" veya "Üretken Yapay Zekâ" ve "Kültürel Miras" veya "Kültürel Mirası Koruma" konularının birlikte çalışıldığı makaleler listelenmiştir (Görsel 1.).



Görsel 1. Veri Tabanında Araması Yapılan Anahtar Kelimeler

Elde edilen akademik çalışmaların 2025-2026 arasında sınırlandırılma sebebi yapılan en son çalışmaların detaylandırılmak istenmesinden kaynaklanmaktadır. 250 yayın incelendiğinde çalışma konusu Somut kültürel miras olmayan çalışmalar ve bu alanda yapılan inceleme yazılarından oluşan 163 makale incelemeden çıkarılmıştır. Sonuç olarak literatür taraması için 88 makale analize dahil edilmiştir.

3. BULGULAR

Yapay Zekâ algoritmaları kullanılarak Kültürel Miras yapıları ile ilgili yapılan çalışmalar her geçen yıl artmakla birlikte araştırmacıların dikkatlerini çekmektedir (Çizelge 1.). Son yıllarda yapılan çalışmalarda ciddi bir artış görülmektedir.

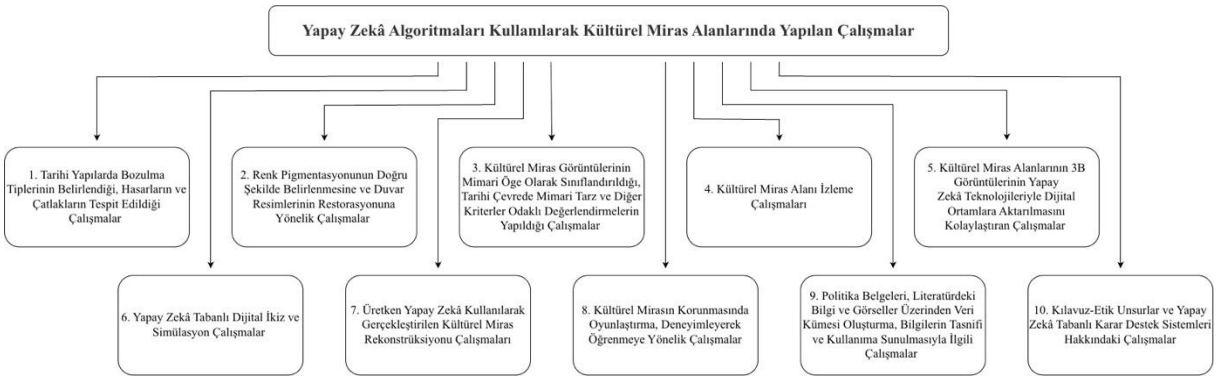
Çizelge 1. Son 5 Yılda WoS Veri Tabanında, Belirlenen Anahtar Kelime Grubundaki Çalışmaların Yıllara Göre Sayıları

Yıl	Yayın Sayısı	Makale Sayısı
2021	28	22
2022	42	20
2023	79	45
2024	85	50
2025	214	135
2026 (son üç ay dahil değil)	181	115

Kültürel Miras alanında Yapay Zekâ tekniklerinin kullanımına ilişkin temel araştırma alanları tarihi yapılarda bozulma tiplerinin belirlendiği hasarların ve çatlakların tespit edildiği çalışmalar, renk pigmentasyonunun doğru şekilde belirlenmesine ve duvar resimlerinin

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

restorasyonuna yönelik çalışmalar, Kültürel Miras görüntülerinin mimari öğe olarak sınıflandırıldığı ve tarihi çevrede mimari tarz ve diğer kriterler odaklı değerlendirmelerin yapıldığı çalışmalar, Kültürel Miras alanı izleme çalışmaları, Kültürel Miras alanlarının 3 Boyutlu görüntülerinin ve 3B Nokta Bulutu ve diğer yöntemlerle Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi çalışmaları, Kültürel Mirasın belgelenmesi ve önleyici korunması için Dijital İkiz ve simülasyon çalışmaları, Üretken Yapay Zekâ kullanılarak gerçekleştirilen Kültürel Miras rekonstrüksiyonu çalışmaları, Artırılmış ve Sanal Gerçeklik deneyimleri ile Kültürel Miras eğitiminde oyunlaştırarak öğrenme ile ilgili çalışmalar, geçmiş bilgilerin sistemleştirildiği, tasnif edildiği ve uzmanların kullanımına sunulduğu çalışmalar ve de KM alanlarında YZ kullanımına yönelik kılavuz ve etik unsurların irdelendiği çalışmalar olmak üzere on alt başlıkta ele alınmıştır. Literatürdeki Kültürel Mirasın korunmasında Yapay Zekâ tekniklerinin kullanıldığı mevcut çalışmalar Görsel 2.'de özetlenmektedir.



Görsel 2. Kültürel Miras Alanında Yapay Zekâ Tekniklerinin Kullanımına İlişkin Temel Araştırma Alanları

Kültürel Mirası korumaya yönelik bu çalışmaların bir kısmının Yapay Zekâ teknolojileri ile yüzey bozulma tipolojilerinin belirlendiği ve malzemedeki bozulmaların ve çatlakların tespit edildiği çalışmalar [4-16] olduğu (Çizelge 2.) görülmüştür.

Çizelge 2. Tarihi Yapılarda Bozulma Tiplerinin Belirlendiği, Hasarların ve Çatlakların Tespit Edildiği Çalışmalar

Referans	Makale
[4]	Kültürel Miras Restorasyonu İçin Taş Ocağı Kireçtaşının Seçiminde Makine Öğrenmesi Modellerinin Uygulanması
[5]	Anıtsal Yapılardaki Tuğla Malzemelerdeki Bozulmaların CNN Modelleri Kullanılarak Değerlendirilmesi
[6]	Taş Kültür Varlıklarının Korunmasında Geliştirilmiş Hiperspektral İşleme için Derin Öğrenme Tabanlı Görüntü Sıkıştırma
[7]	Darbhanga Kalesi Battledore'unda Derin Öğrenme Tabanlı Hasar Tespiti ve Segmentasyonu
[8]	Kumtaşı Mirasın Ayrışma Derecesinin Değerlendirilmesi için Yeni Bir Hava Bağlantılı Ultrasonik Teknik

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

[9]	Kültürel Miras Yüzeylerinde Derin Öğrenme Tabanlı Çatlak Tespiti
[10]	Budama ve Bilgi Damıtımı Kullanılarak Kültürel Miras İçin Cihaz Üzerinde Verimli Hasar Segmentasyonu
[11]	Miras Yapılarında Derin Öğrenme Tabanlı Bozulma Sınıflandırması için Altı Aşamalı Ablasyon Odaklı Kıyaslama Çerçevesi
[12]	Kültürel Miras Yapılarında Hasar Segmentasyonu için Çift Omurgalı Füzyon Ağı
[13]	Tarihi Yapıların Hasar Değerlendirmesinde Yapay Zekâ Kullanımı
[14]	Kerpiç Kültürel Miras Yapılarında İnce Ayrıntılı Piksel Düzeyinde Çatlak Haritalama
[15]	Altamira Mağarası (İspanya): İHA Tabanlı SLAM Haritalama, Dijital İkiz ve Segmentasyon Odaklı Çatlak Tespiti ile Paleolitik Kaya Sanatı Ortamlarında Önleyici Koruma
[16]	Arkeolojik Anıtlardaki Hasarların Derin Öğrenme Yoluyla Tespiti ve Sınıflandırılması: Fas'taki Chellah Anıtı Örneği

Çalışmaların bir kısmının da Kültürel Mirasın korunması ve restorasyonu açısından kritik öneme sahip olan pigmentlerin doğru şekilde belirlenmesinde Yapay Zekâ teknolojilerinin kullanıldığı çalışmalar [17-19] ve duvar resimlerinin özgün üslubu ve görsel özelliklerinin korunması ve analizine yönelik çalışmalar [20-26] oluşturmaktadır. Bu çalışmalar bozulmuş duvar resmi görüntülerinin restore edilmesi ve iyileştirilmesi için önemli kaynaklar (Çizelge 3.) sağlamaktadır.

Çizelge 3. Renk Pigmentasyonunun Doğru Şekilde Belirlenmesine ve Duvar Resimlerinin Restorasyonuna Yönelik Çalışmalar

Referans	**Makale**
[17]	Kültürel Miras Renklerinin Yeniden Üretilmesi: Renk Ağı ve Uyum Modellerine Dayalı Etkileşimli Genetik Algoritma Optimizasyonu
[18]	Kültürel Mirasın Korunmasında Kullanılan Pigmentlerin Üretim Süreçlerinin Sınıflandırılmasına Yönelik Derin Öğrenme Modellerinin Karşılaştırılması ve Yorumlanabilirlik Analizi
[19]	Hiper-Spektral Görüntüleme Teknolojisine Dayalı Olarak Boyalı Kültürel Mirastaki Mineral Pigmentlerin Tahribatsız Tanımlanması
[20]	Dunhuang_Faces: Kültürel Miras ve Makine Öğrenmesi İçin Görüntü İşleme ile Geliştirilmiş Bir Veri Seti
[21]	Aşamalı Yeniden Yapılandırma ve Hasara Duyarlı Uyarlama Yoluyla Yüksek Duyarlılıklı Duvar Resmi Onarımı
[22]	Derin Öğrenme ve Bulut Bilişim Teknolojisine Dayalı Akıllı Dijital Koruma Mekanizması
[23]	Duvar Resmi Desen Tanıma için Yapı-Farkındalıklı Özellik Füzyonu Yoluyla Uç Birimlere Uygun Sinirsel Mimari Arama Çerçevesi

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

[24]	Yapay Zekâ Destekli Antik Duvar Resimlerinin Tanınması ve Sürdürülebilir Korunması: DKR-YOLO Çerçevesi
[25]	Antik Duvar Resimlerindeki Hasarlı Bölgelerin Görsel Belirginlik Tahmini İçin Bireye Duyarlı Gradyan Artırma Regresyonu
[26]	Kaya Sanatı Resimlerinde Otomatik Pigment Sınıflandırması ve Filtre Tahmini için Çok Aşamalı Derin Öğrenme Çerçevesi

Diğer bir grubu Kültürel Miras görüntülerinin mimari öğe olarak sınıflandırıldığı, Tarihi çevrede mimari tarz, bezeme desenleri ve diğer kriterler odaklı değerlendirmelerin yapıldığı ya da Mimari yapıların fotoğraflar üzerinden otomatik tespitinin yapıldığı çalışmalar [27-32] (Çizelge 4.) oluşturmaktadır.

Çizelge 4. Kültürel Miras Görüntülerinin Mimari Öge Olarak Sınıflandırıldığı, Tarihi Çevrede Mimari Tarz ve Diğer Kriterler Odaklı Değerlendirmelerin Yapıldığı Çalışmalar

Referans	Makale
[27]	Akıllı Turizmde Turistik Yapı Tanıma için Piksel-Geliştirmeli YOLO11 Modellerini Kullanan Bir Topluluk Derin Öğrenme Çerçevesi
[28]	Transfer Öğrenme ve Veri Artırma Kullanılarak Kültürel Miras Yapılarının Sınıflandırılması için Derin Öğrenme Yaklaşımı
[29]	Akıllı Turizmde Simge Yapı Tanıma: YOLO11 Kullanılarak Çok Eşikli İyileştirme ve Seçici Topluluk Yaklaşımı
[30]	ConvNeXt-L Tabanlı Tarihî Mimari Bezeme Desenlerinin Tanınması: Makao Örneği
[31]	Tarihi Konut Dış Cephelerinin Görsel Algı Değerlendirmesi İçin Entegre Derin Öğrenme Çerçevesi
[32]	AltarData: Derin Öğrenme Kullanılarak Brezilya Kültürel Miras Sunaklarında Nesne Tespiti için Yeni Bir Açıklamalı Veri Kümesi

Çalışmaların bir kısmı uydu görüntülerindeki karmaşık arazi dokularından toprak altında veya yeryüzünde kalıntı olarak bulunan miras alanlarının otomatik olarak tespitine [33-37] dayalı çalışmaları ve miras alanlarını korumak için öngörücü bakım sağlamak adına uydu görüntüleri ile miras alanlarının takibinin [38-40] yapıldığı çalışmaları (Çizelge 5.) kapsamaktadır.

Çizelge 5. Kültürel Miras Alanı İzleme Çalışmaları

Referans	Makale
[33]	Xixia İmparatorluk Mezarlarının Uzaktan Algılama Arkeolojisi: Gömü Peyzajlarının ve Jeomantik Yerleşimlerin Analizi
[34]	Kültürel Miras Alanları için Zamansal Değişmezlik Farkındalıklı Bir Eğitim Stratejisi Kullanılarak Uzaktan Algılama Görüntülerinde Süper Çözünürlük
[35]	Kültürel Mirasın Önleyici Korunması ve Sürdürülebilir Yönetimi için Derin Öğrenme ve Mekânsal Modellemeden Yararlanma: Çin, Qinghai'deki Liuwan Mezarları Üzerine Bir Vaka Çalışması

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

[36]	Çin Lös Platosu'ndaki Silo-Mağara Geleneksel Konutlarının Derin Öğrenmeye Dayalı Akıllı Tanımlanması
[37]	Hava LiDAR Türev Verilerinde Yapay Zekâ Destekli Arkeolojik Nesne Tespiti Üzerine Teknik Bir Not, Öncü Teknik Olarak CNN
[38]	Kültürel Miras için Durum Farkındalıklı Siber–Fiziksel–Sosyal Sistem
[39]	Kültürel Mirasın Korunmasına Yönelik Yapay Zekâ Tabanlı Proaktif Bakım: Hibrit Nöro-Bulanık Bir Yaklaşım
[40]	Statik Bağlam ile Dinamik Değişimin Ayrıştırılması: Çok On Yıllı Miras İzleme için Zamansal Olarak Ortalaması Alınmış Ön Bilgilerle Bir Uzamsal-Zamansal Kod Çözücü

3 boyutlu görüntünün dijital ortamlara aktarılması amacıyla yapılan çalışmaları içermektedir (Çizelge 6.). Tarihi yapıların karmaşık ve tekrarlanmayan geometrik yapılarından dolayı nokta bulutlarının otomatik sınıflandırılmasında karşılaşılan zorlukları çözmek adına 3 Boyutlu Nokta Bulutlarının işlenmesini kolaylaştıracak tekniklerin alana entegre edildiği ve LiDAR taramaları, drone fotoğrafçılığı ve fotogrametrinin kullanımını YZ Teknolojileriyle pratik hale getiren çalışmaları kapsamaktadır [41-54].

Çizelge 6. Kültürel Miras Alanlarının 3 Boyutlu Görüntülerinin YZ Teknolojileriyle Dijital Ortamlara Aktarılmasını Kolaylaştıran Çalışmalar

Referans	**Makale**
[41]	Kültürel Miras Alanlarının Sürekli İzlenmesi ve Restorasyonu için Yapay Zekâ ve IoT Sensörlerinin Entegrasyonu – Kritik Faktörlerin Belirlenmesi
[42]	Çin'de Tarihî Mimari Tanıma İçin Yenilikçi Bir Çerçeve: Swin Transformer ve Küresel Kanal–Mekânsal Dikkat Mekanizmasının Entegrasyonu
[43]	3B Nokta Bulutlarından Tarihî Yapıların Teşhisini Desteklemek İçin Bütüncül Bir Çözüm
[44]	Veri Kalitesi, Semantik ve Sınıflandırma Özellikleri: Tarihi Miras için Denetimli DÖ-YZ Sınıflandırma Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi ve Optimizasyonu
[45]	3B Nokta Bulutu Anlamsal Segmentasyonunun Optimizasyonu: UNESCO Saltaire Köyü'nde MÖ ve Manuel İyileştirme
[46]	Kültürel Mirasın Korunmasında SPA'dan Yararlanma: Novi Sad'daki Katolička Porta Üzerine Bir Vaka Çalışması
[47]	İç Mekânlarda İslam Geometrisi için Miras Farkındalıklı Üretken Yapay Zekâ İş Akışı
[48]	Transformer Modeli Kullanılarak Tel Yapılı Nesnelerin 3B Nokta Bulutu Filtrelemesi
[49]	Kadim Yapıların Dijital Özgünlüğünün Korunması için Açıklanabilir Derin Öğrenme ile Çok Kaynaklı Hava-Yer-İnsan. Verilerinin Füzyonu
[50]	Derin Öğrenme ile İHA Görüntüleri Tabanlı Yığma Duvar Segmentasyonu
[51]	SIDe-HBIM: Yarı Otomatik Dekoratif Modelleme İçin Bir Araç Olarak Tek Görüntüden Derinlik Çıkarımı

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

[52]	Otomatikleştirilmiş HBIM için Yapay Zekâ Uygulama Yol Haritası: Birleşik Krallık Kültürel Mirası için Standartlaştırılmış Dijital İş Akışlarına Doğru
[53]	Miras Belgelemesinde HBIM Üretimi için Entegre YLT-İHA İş Akışı
[54]	Tüketici Sınıfı İHA'lardan Erişilebilir 3D Gaussian Splatting'in Kültürel Mirasın Hızlı Belgelenmesi İçin Bir Çerçeve Olarak Kullanımı

Çizelge 7 Kültürel Mirasın belgelenmesi, izlenmesi ve önleyici korunması için Dijital İkiz ve simülasyon çalışmalarını içermektedir [55-60].

Çizelge 7. Yapay Zekâ Tabanlı Dijital İkiz ve Simülasyon Çalışmaları

Referans	Makale
[55]	Kültürel Miras Dijital İkizleri Verilerinin Yönetiminde Yapay Zekâ ve Ontolojiler
[56]	Kültürel Miras için Etmen Tabanlı Yapay Zekâ: Anlamsal Dijital İkizlere Risk Hafızasının Gömülmesi
[57]	Miras Dünya Modellerine Doğru
[58]	Tarihi ve Kültürel Köylerde Geleneksel Konut Yapılarının Derin Öğrenme ve Dijital İkiz Teknolojisi Kullanılarak Korunması ve Restorasyonu
[59]	Arkeolojik Alanların Geri Döndürülebilir Mühendislik Koruması ve Koruma Kalite Kontrolü için Sürdürülebilir Malzeme Simülasyonu ve Geliştirilmiş Korunmasında Dijital İkiz Uygulaması
[60]	Gelişen Aktör–Ağ Ontolojilerine Doğru: Kültürel Miras için Düşünümsel Dijital İkizlerin Etkinleştirilmesi

Çizelge 8'de belirli kısıtlamalarla üretken yapay zekâ kullanılarak gerçekleştirilen kültürel miras rekonstrüksiyonu çalışmaları bulunmaktadır [61-63] .

Çizelge 8. Üretken Yapay Zekâ Kullanılarak Gerçekleştirilen Kültürel Miras Rekonstrüksiyonu Çalışmaları

Referans	Makale
[61]	"Geçmişi Hatırlıyorum": İnsanların Kültürel Miras Anlatıları Oluşturmak İçin Üretken Yapay Zekâ ile Nasıl İş Birliği Yaptıklarının İncelenmesi
[62]	HARF'ın Bamiyan'ın Ötesine Genellenmesi: Üretken Yapay Zekâ Tabanlı Bir Kültürel Miras Rekonstrüksiyon Çerçevesinin Palmira'daki Bel Tapınağı Üzerinde Sınırlı Alanlar Arası Değerlendirmesi
[63]	HARF: Uzman Rehberliğinde Çok Platformlu Üretken Yapay Zekâ ve Sistematik İstem Mühendisliği ile Kültürel Miras Rekonstrüksiyonu için İnsan–Yapay Zekâ İş Birliğine Dayalı Bir Çerçeve

Çalışmaların bir kısmı da dijitalleştirme yöntemlerini geliştirmenin yanı sıra, Kültürel Mirasın korunmasında derin öğrenme ve sürükleyici teknolojilerin Artırılmış ve Sanal Gerçeklik deneyimlerinin daha geniş uygulamalarına yönelik çalışmaları kapsamaktadır (Çizelge 9.).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Kültürel Miras bağlamında oyunlaştırma, deneyimleyerek öğrenme, yaratıcılık ve iş birliğini artırma çalışmalarının potansiyeli araştırılmaktadır [64-77].

Çizelge 9. Kültürel Mirasın Korunmasında Oyunlaştırma, Deneyimleyerek Öğrenmeye Yönelik Çalışmalar

Referans	Makale
[64]	360° Görüntüleme, Derin Öğrenme ve Sanal Gerçeklik Kullanılarak Tarihi Mimarinin Çevik Dijitalleştirmesi
[65]	i-Game: Kapsayıcı Oyun Tasarımı ve İleri Teknolojiler Yoluyla Kültürel Mirasın Yeniden Tanımlanması
[66]	Sanat, Bilim ve Teknolojinin Sinerjisi: Kültürel Mirasla Etkileşimin Artırılmasında Artırılmış Gerçeklik ve Yapay Zekâ Üzerine Bir Vaka Çalışması
[67]	Çok Duyulu Müzeler, Hibrit Gerçeklikler, Anlatı ve Teknolojik Yenilik: Deneyim Tasarımı ve Özgünlük Algısında Yeni Perspektifler Üzerine Bir Tartışma
[68]	Müze Deneyimlerini Yapay Zekâ ile Yeniden Şekillendirmek: ReInHerit Araç Seti
[69]	Dijital Miras Eğitiminde Üç Boyutlu Modelleme ve Yapay Zekâ Destekli Bağlamsal Anlatılar: Tasarım Becerisini, Kültürel Farkındalığı ve Kullanıcı Deneyimini Geliştirmeye Yönelik Ders
[70]	Kültürel Mirasın Deneyimsel Dönüşümü ve Öğrenme için Müzelerde Yapay Zekâ Uygulaması
[71]	Gerçekliğin Hayal Edildiği Haliyle: Kentsel Kültürel Miras Anlatılarının Zaman Boyunca (Yeniden) Yorumlanması için TeleAbsence Odaklı Bir Genişletilmiş Gerçeklik Deneyiminin Tasarımı ve Değerlendirilmesi
[72]	Yapay Zekâ Destekli Kültürel Deneyimler: Farklı Yapay Zekâ Modellerinde Anlatı Oluşturmanın Karşılaştırılması
[73]	Fotogerçekçiliğin Ötesinde: Stilize ve Oyunlaştırılmış Kültürel Mirasın Canlandırılması için AIGC Destekli Bir Çerçeve
[74]	Kültürel Miras için Anlatı Odaklı Genişletilmiş Gerçeklik: Artırılmış ve Sanal Gerçeklik Deneyimlerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi
[75]	Sanal Gerçeklik/ Artırılmış Gerçeklik Sürükleyici Sergi Tasarımı: Kültürel miras İletişiminde Akıllı Etkileşim ve Yenilikçi Yol
[76]	ARIA: Kültürel Miras İçin Yapay Zekâ Destekli Uyarlanabilir Artırılmış Gerçeklik Çerçevesi
[77]	Kültürel Miras Öğrenimini Desteklemek İçin Pekiştirmeli Öğrenme Odaklı Uyarlanabilir Bir Oyun Yaklaşımı

Çalışmaların bir kısmı politika belgeleri, literatürdeki bilgi, sosyal medya içerikleri ve görseller üzerinden bir veri kümesi oluşturma ve bu bilgilerin kullanıma sunulduğu çalışmaları içermektedir [78-85]. Kültürel Miras alanlarında üretilen, çoğu zaman parçalı ve

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

yapılandırılmamış belgelerin, uluslararası düzeyde kabul görmüş standartlar ve ontolojilerle uyumlu, tutarlı Bilgi Grafiklerine dönüştürülmesine odaklanılmaktadır. Yapılandırılmamış metinsel ve görsel verilerin analizi ve özellikle de metin sınıflandırma analizinin yenilikçi kullanımı incelenmektedir. Çalışmalardaki Yapay Zekâ kullanımı alana katkılarına rağmen birçok zorluğu ve çok sayıda etik kaygıyı gündeme getirmektedir. Çalışmaların bir diğer kısmı da kılavuz, etik unsurlar ve Karar Destek Sistemleri bağlamında özelleşen çalışmaları kapsamaktadır [86-91].

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Kültürel Miras alanında Yapay Zekâ tekniklerinin kullanımına ilişkin Web of Science veri tabanında akademik literatürün tematik eğilimlerini, yoğunlaştıkları noktaları ve araştırma boşluklarını bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koymayı hedefleyen bu literatür taraması 88 vaka çalışmasının analizine dayanmaktadır. Temel araştırma alanları tarihi yapılarda bozulma tiplerinin belirlendiği hasarların ve çatlakların tespit edildiği 13 çalışma, renk pigmentasyonunun doğru şekilde belirlenmesine ve duvar resimlerinin restorasyonuna yönelik 10 çalışma, Kültürel Miras görüntülerinin mimari öğe olarak sınıflandırıldığı ve tarihi çevrede mimari tarz ve diğer kriterler odaklı değerlendirmelerin yapıldığı 6 çalışma, 8 Kültürel Miras alanı izleme çalışması, Kültürel Miras alanlarının 3 Boyutlu görüntülerinin ve 3B Nokta Bulutu ve diğer yöntemlerle Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi 14 çalışma, Kültürel Mirasın belgelenmesi ve önleyici korunması için 6 Dijital İkiz ve simülasyon çalışması, 3 adet Üretken Yapay Zekâ kullanılarak gerçekleştirilen Kültürel Miras rekonstrüksiyonu çalışması, 14 adet Artırılmış ve Sanal Gerçeklik deneyimleri ile Kültürel Miras eğitiminde oyunlaştırarak öğrenme ile ilgili çalışmalar, 8 adet geçmiş bilgilerin sistemleştirildiği, tasnif edildiği ve uzmanların kullanımına sunulduğu çalışmalar ve de 6 adet Kültürel Miras alanlarında Yapay Zekâ kullanımına yönelik kılavuz ve etik unsurların irdelendiği çalışmalar olmak üzere on alt başlıkta ele alınmıştır.

Çalışmaların yoğunlaştığı iki alan 14 çalışma [41-54] ile Miras alanlarının 3B görüntülerinin Yapay Zekâ teknolojileri ile dijital ortamlara aktarıldığı belgeleme çalışmaları ve yine 14 çalışma [64-77] ile Kültürel Mirasın korunmasında oyunlaştırma, deneyimleyerek öğrenmeye yönelik Artırılmış ve Sanal Gerçeklik deneyimleri ele alınmıştır. Kültürel Mirasın sürdürülebilir biçimde korunması, yalnızca somut varlıkları güvence altına alan değil, aynı zamanda bunların uzun vadeli kültürel, toplumsal ve ekonomik değerini artıran stratejileri gerektirmektedir. Yapay Zekâ teknolojileri kültürel mirasın korunması, belgelenmesi ve gelecek kuşaklara aktarılmasında vazgeçilmez bir yardımcı olmakla birlikte, insan uzmanlığının, zanaat birikiminin ve tarihsel sezginin yerini alabilecek otonom bir yapı olarak görülmemelidir. UNESCO ve ICOMOS ilkelerine dayalı sektöre özgü etik ve yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesi ve bilgisayar bilimcileri ile koruma uzmanları arasındaki disiplinler arası eğitim ve iş birliği ağlarının güçlendirilmesi hayati önem taşımaktadır. Mevcut çalışmalar ağırlıklı olarak 3B görüntüleme ve dijital modelleme çalışmalarına odaklanırken Üretken Yapay Zekâ kullanılarak gerçekleştirilen Kültürel Miras Rekonstrüksiyonu çalışmalarının 3 çalışmadan [61-63] oluşması literatürdeki araştırma boşluğunu işaret etmektedir.

Ayrıca mevcut araştırmaların büyük bölümü veri doğruluğunu artırma ve verimliliği yükseltme gibi teknik uygulamalara odaklanırken, bu teknolojilerin kültürel sürdürülebilirlik ve kültürel koruma süreçlerine entegrasyonu kritik teknik ve etik kısıtları da beraberinde getirmektedir. Otantiklik kaybı, telif sorunları, batı merkezli veri ön yargısı ve verilerin entegrasyonuna ilişkin meseleler de dâhil olmak üzere çözümlenmemiş zorluklara yönelik çeşitli kaygılar kılavuz, etik

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

unsurlar ve Karar Destek Sistemleri bağlamında özelleşen 6 çalışmanın [86-91] geliştirilmesine neden olmuştur. Bu kaygılar üzerine yapılan çalışmaların sınırlılığı sürdürülebilir mirasın korunmasında Yapay Zekânın rolünün daha derinlemesine araştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

1. Liu, Q., et al., *Canton commercial maritime heritage: historical and cultural origins of customs buildings in Guangdong region and their revitalization values from a linear perspective.* Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2025. **24**(6): p. 4969–4984.
2. Wang, X. and B. Chen, *Artificial intelligence for cultural heritage: digital image processing-based techniques and research challenges.* International Journal of Information and Communication Technology, 2025. **26**(13): p. 37–60.
3. Li, B., Y.L. Lim, and W. Li, *Systematic review: A bibliometric analysis of building technology and its potential applications to artificial intelligence in the field of cultural heritage conservation from 2013 to 2023.* Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2026. **25**(2): p. 1021–1043.
4. Saba, M., Ó.E. Coronado-Hernández, and A. Arrieta-Pastrana, *Application of Machine Learning Models to Select Quarry Limestone for Heritage Restoration.* Conservation Science in Cultural Heritage, 2025. **25**: p. 133–153.
5. Şahin, M., et al., *Evaluation of deterioration in brick materials in monumental buildings using CNN models.* Gazi University Journal of Science, 2025. **38**(3): p. 1080–1092.
6. Peng, L., et al., *Deep learning-based image compression for enhanced hyperspectral processing in the protection of stone cultural relics.* Expert Systems with Applications, 2025. **271**: p. 126691.
7. Singh, S.K., D. Maity, and P.K. Kumawat, *Deep learning-based damage detection and segmentation in the battledore of Darbhanga Fort.* Journal of Cultural Heritage, 2025. **73**: p. 510–523.
8. Cheng, Y., et al., *A novel air-coupled ultrasonic technique for assessing the weathering degree of sandstone heritage.* Journal of Cultural Heritage, 2025. **74**: p. 204–213.
9. Huang, W.-C., et al., *Deep learning-based crack detection on cultural heritage surfaces.* Applied Sciences, 2025. **15**(14): p. 7898.
10. Yue, Y., et al., *Efficient on-device damage segmentation for cultural heritage using pruning and knowledge distillation.* Journal of Cultural Heritage, 2026. **77**: p. 284–293.
11. Ekici, B.B., N.B. Avci, and S. Ekici, *A Six-Stage Ablation-Driven Benchmarking Framework for Deep Learning-Based Deterioration Classification in Heritage Structures.* IEEE Access, 2026.
12. Yue, Y., et al., *Dual-backbone fusion network for damage segmentation in cultural heritage buildings.* Automation in Construction, 2026. **182**: p. 106769.
13. Ararat, M.B. and T.K. Yenice, *The use of artificial intelligence in damage assessment of historical buildings.* Frontiers of Architectural Research, 2025.
14. Matich, H., J. Attmani, and H. Mousannif, *Fine-grained pixel-level crack mapping in earthen heritage structures.* Scientific Reports, 2026.
15. Angás, J., et al., *Cave of Altamira (Spain): UAV-Based SLAM Mapping, Digital Twin and Segmentation-Driven Crack Detection for Preventive Conservation in Paleolithic Rock-Art Environments.* Drones, 2026. **10**(1): p. 73.

16. Khlifati, O., K. Baba, and S. Simou, *Distress detection and classification of archaeological monuments through deep learning: A case study of chellah, a Moroccan monument.* Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 2025. **37**: p. e00422.
17. Jiang, Z., et al., *Cultural heritage color regeneration: Interactive genetic algorithm optimization based on color network and harmony models.* Applied Sciences, 2025. **15**(4): p. 1720.
18. Go, I., et al., *Comparison and interpretability analysis of deep learning models for classifying the manufacturing process of pigments used in cultural heritage conservation.* Applied Sciences, 2025. **15**(7): p. 3476.
19. Yang, H., et al., *Non-destructive identification of mineral pigments in painted cultural heritage based on hyperspectral imaging technology.* Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2026: p. 128337.
20. Zhang, Z. and Y. Cao, *Dunhuang_Faces: A Dataset Enhanced through Image Processing for Cultural Heritage and Machine Learning.* Traitement du Signal, 2025. **42**(1): p. 569.
21. Qu, S., et al., *High-fidelity mural inpainting via progressive reconstruction and damage-aware adaptation.* Expert Systems with Applications, 2026. **296**: p. 128957.
22. Zhu, L. and Y. Ma, *The Deep Learning and Cloud Computing Technology for Intelligent Digital Preservation Mechanism.* International Journal of Information Technologies and Systems Approach (IJITSA), 2025. **18**(1): p. 1–15.
23. Zhou, X., W. Deng, and F. Xie, *Edge-Friendly NAS Framework for Mural Pattern Recognition via Structure-Aware Feature Fusion.* Internet Technology Letters, 2025. **8**(5): p. e70109.
24. Guo, Z., et al., *Ai-driven recognition and sustainable preservation of ancient murals: the dkr-yolo framework.* Heritage, 2025. **8**(10): p. 402.
25. Xie, N., Y. Cao, and B. Zhang, *Individual-Aware Gradient Boosting Regression for Visual Saliency Prediction of Damaged Regions in Ancient Murals.* Applied Sciences, 2026. **16**(4): p. 2055.
26. Ribeiro, B., et al., *A Multi-Stage Deep Learning Framework for Automatic Pigment Classification and Filter Prediction in Rock Art Paintings.* IEEE Access, 2026.
27. Hudayberdiev, U. and J. Lee, *An ensemble deep learning framework for smart tourism landmark recognition using pixel-enhanced YOLO11 models.* Sustainability, 2025. **17**(12): p. 5420.
28. Ottoni, A.L.C. and L.T.C. Ottoni, *A deep learning approach for cultural heritage building classification using transfer learning and data augmentation.* Journal of Cultural Heritage, 2025. **74**: p. 214–224.
29. Hudayberdiev, U., J. Lee, and O. Fayzullaev, *Smart tourism landmark recognition: A multi-threshold enhancement and selective ensemble approach using YOLO11.* Sustainability, 2025. **17**(17): p. 8081.
30. Zhou, J., et al., *ConvNeXt-L-based recognition of decorative patterns in historical architecture: a case study of Macau.* Buildings, 2025. **15**(20): p. 3705.
31. Wu, J., et al., *Integrated Deep learning framework for visual perception assessment of historic dwelling exteriors.* Ain Shams Engineering Journal, 2026. **17**(4): p. 104099.
32. Ottoni, A.L.C. and L.T.C. Ottoni, *AltarData: A novel annotated dataset for object detection in the Brazilian heritage altars using deep learning.* Journal of Cultural Heritage, 2026. **81**: p. 248–259.
33. Ji, W., et al., *Remote sensing archaeology of the Xixia Imperial Tombs: Analyzing burial landscapes and geomantic layouts.* Remote Sensing, 2025. **17**(14): p. 2395.

34. Chen, C., et al., *Remote Sensing Image Super-Resolution for Heritage Sites Using a Temporal Invariance-Aware Training Strategy.* Remote Sensing, 2025. **18**(1): p. 118.
35. Sun, Y., et al., *Leveraging Deep Learning and Spatial Modeling for Preventive Protection and Sustainable Management of Cultural Heritage: A Case Study of the Liuwan Tombs, Qinghai, China.* Sustainability, 2026. **18**(12): p. 6087.
36. Jiang, D., et al., *Intelligent identification of silo-cave traditional residences in the Chinese Loess Plateau based on deep learning.* Journal of Archaeological Science, 2026. **192**: p. 106625.
37. Zeynali, R., E. Mandanici, and G. Bitelli, *A Technical Note on AI-Driven Archaeological Object Detection in Airborne LiDAR Derivative Data, with CNN as the Leading Technique.* Remote Sensing, 2025. **17**(15): p. 2733.
38. Colace, F., et al., *Situation-aware cyber–physical–social system for cultural heritage.* Intelligent Systems with Applications, 2025. **27**: p. 200544.
39. Dragomir, O.E. and F. Dragomir, *AI-based proactive maintenance for cultural heritage conservation: A hybrid neuro-fuzzy approach.* Future Internet, 2025. **17**(11): p. 510.
40. Zhang, L., et al., *Decoupling Static Context and Dynamic Change: A Spatio-Temporal Decoder with Time-Averaged Priors for Multi-Decadal Heritage Monitoring.* IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2026.
41. Dolinska, N., G. Wojciechowska, and L. Bednarz, *Integration of AI and IoT Sensors for Continuous Monitoring and Restoration of Cultural Heritage Sites–Determining Critical Factors.* International Journal of Conservation Science, 2025. **16**: p. 501–516.
42. Wu, J., et al., *Innovative Framework for Historical Architectural Recognition in China: Integrating Swin Transformer and Global Channel–Spatial Attention Mechanism.* Buildings, 2025. **15**(2): p. 176.
43. Sánchez-Aparicio, L.J., et al., *A holistic solution for supporting the diagnosis of historic constructions from 3D point clouds.* Remote Sensing, 2025. **17**(12): p. 2018.
44. Cera, V., et al., *Data Quality, Semantics, and Classification Features: Assessment and Optimization of Supervised ML-AI Classification Approaches for Historical Heritage.* Heritage, 2025. **8**(7): p. 265.
45. Cotella, V.A., et al., *Optimising 3D point cloud semantic segmentation: ML and manual refinement in the UNESCO Saltaire Village.* Building Research & Information, 2025. **53**(7): p. 846–870.
46. Vasiljević, I., et al., *Leveraging NERF for cultural heritage preservation: A case study of the Katolička Porta in Novi Sad.* Electronics, 2025. **14**(19): p. 3785.
47. Ashour, A.F. and W. Rashdan, *Heritage-aware generative AI workflow for Islamic geometry in interiors.* Heritage, 2025. **8**(11): p. 486.
48. Kniaz, V., et al., *Wire-Structured Object 3D Point Cloud Filtering Using a Transformer Model.* Optical Memory and Neural Networks, 2025. **34**(Suppl 1): p. S175–S184.
49. Qi, X., et al., *MULTI-SOURCE AIR-GROUND-HUMAN DATA FUSION WITH EXPLAINABLE DEEP LEARNING FOR DIGITAL AUTHENTICITY PRESERVATION OF ANCIENT BUILDINGS.* Journal of Nonlinear and Convex Analysis, 2026. **27**(4): p. 1053–1067.
50. Öztürk, O., *Derin Öğrenme ile İHA Görüntüleri Tabanlı Yığma Duvar Segmentasyonu.* Geomatik, 2025. **11**(1): p. 120–128.
51. Bianconi, F., et al., *SIDe-HBIM: Single-Image Depth Inference as a Tool for Semi-Automatic Decorative Modeling.* Heritage, 2026. **9**(2): p. 70.
52. Gil, A. and Y. Arayici, *AI implementation roadmap for automated HBIM: toward standardised digital workflows for Uk cultural heritage.* Buildings, 2026. **16**(5): p. 921.

53. Bac-Bronowicz, J., I. Piech, and G. Wojciechowska, *Integrated TLS-UAV workflow for HBIM generation in heritage documentation.* Remote Sensing, 2026. **18**(6): p. 857.
54. Martino, A. and F. Chiabrando, *Accessible 3D Gaussian Splatting from Consumer-Grade UAVs as a Framework for Rapid Documentation of Cultural Heritage.* Heritage, 2026. **9**(8): p. 328.
55. Felicetti, A. and F. Niccolucci, *Artificial intelligence and ontologies for the management of heritage digital twins data.* Data, 2024. **10**(1): p. 1.
56. Pavlidis, G., *Agentic ai for cultural heritage: embedding risk memory in semantic digital twins.* Computers, 2025. **14**(7): p. 266.
57. Pavlidis, G., V. Sevetlidis, and V. Arampatzakis, *Towards Heritage World Models.* Heritage, 2026. **9**(6): p. 233.
58. Gao, Y. and X. Xie, *Preservation and restoration of traditional residential buildings in historical and cultural villages using deep learning and digital twin technology.* Discover Applied Sciences, 2026.
59. Bhatti, A.Q., J. Manzoor, and S. Takhirov, *Application of digital twin for sustainable material simulation and enhanced conservation of archaeological sites for reversible engineering preservation and conservation quality control.* Frontiers in Built Environment, 2026. **12**: p. 1872043.
60. Pavlidis, G., et al., *Towards Evolving Actor–Network Ontologies: Enabling Reflexive Digital Twins for Cultural Heritage.* Information, 2025. **16**(10): p. 892.
61. He, Z., et al., *'I Recall the Past': Exploring How People Collaborate with Generative AI to Create Cultural Heritage Narratives.* Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 2025. **9**(2): p. 1–30.
62. Arzomand, K. and T. Kalganova, *Generalising HARF Beyond Bamiyan: A Bounded Cross-Site Evaluation of a Generative-AI Heritage Reconstruction Framework at the Temple of Bel, Palmyra.* Heritage, 2026. **9**(8): p. 331.
63. Arzomand, K., T. Kalganova, and M. Rustell, *HARF: A human–AI collaborative framework for cultural heritage reconstruction with expert-guided multi-platform generative AI and systematic prompt engineering.* Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 2026. **42**: p. e00554.
64. Rahimi, F.B., et al., *Agile digitization for historic architecture using 360° capture, deep learning, and virtual reality.* Automation in Construction, 2025. **171**: p. 105986.
65. Kosti, M.V., et al., *i-Game: Redefining cultural heritage through inclusive game design and advanced technologies.* Electronics, 2025. **14**(6): p. 1141.
66. Chen, A., R. Jesus, and M. Vilarigues, *Synergy of art, science, and technology: A case study of augmented reality and artificial intelligence in enhancing cultural heritage engagement.* Journal of Imaging, 2025. **11**(3): p. 89.
67. Pietroni, E., *Multisensory Museums, Hybrid Realities, Narration, and Technological Innovation: A Discussion Around New Perspectives in Experience Design and Sense of Authenticity.* Heritage, 2025. **8**(4): p. 130.
68. Mazzanti, P., et al., *Reshaping Museum Experiences with AI: The ReInHerit Toolkit.* Heritage, 2025. **8**(7): p. 277.
69. Yu, Y. and W. Hu, *Three-Dimensional Modeling and AI-Assisted Contextual Narratives in Digital Heritage Education: Course for Enhancing Design Skill, Cultural Awareness, and User Experience.* Heritage, 2025. **8**(7): p. 280.
70. Suiçmez, İ., et al., *Artificial intelligence application for museum to experiential transformation of cultural heritage and learning.* Smart Learning Environments, 2025. **12**(1): p. 45.

71. Li, Y., et al., *Reality as Imagined: Design and Evaluation of a TeleAbsence-Driven Extended Reality Experience for (Re) Interpreting Urban Cultural Heritage Narratives Across Time.* International Journal of Human–Computer Interaction, 2026. **42**(8): p. 6476–6505.
72. Antoniou, A., et al., *AI-Enabled Cultural Experiences: A Comparison of Narrative Creation Across Different AI Models.* Electronics, 2025. **14**(20): p. 4043.
73. Li, C., et al., *Beyond photorealism: An AIGC-powered framework for stylized and gamified cultural heritage revitalization.* Buildings, 2025. **15**(20): p. 3782.
74. Clini, P., R. Angeloni, and L. Coppetta, *Narrative-driven XR for Cultural Heritage: a comparative evaluation of augmented and virtual reality experiences.* SCIRES-IT-SCIentific RESearch and Information Technology, 2026. **16**(1): p. 19–36.
75. Guo, L., *Design of VR/AR Immersive Exhibition: Intelligent Interaction and Innovative Path of Cultural Heritage Communication.* International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations (IJGCMS), 2026. **18**(1): p. 1–17.
76. Konstantakis, M. and E. Iakovaki, *ARIA: An AI-Supported Adaptive Augmented Reality Framework for Cultural Heritage.* Information, 2026. **17**(1): p. 90.
77. Tsita, C., et al., *An RL-Driven Adaptive Game Approach to Support Cultural Heritage Learning.* Journal of Computer Assisted Learning, 2026. **42**(1): p. e70156.
78. Foroughi, M., T. Wang, and A. Pereira Roders, *In praise of diversity in participatory heritage planning empowered by artificial intelligence: windcatchers in Yazd.* Urban Planning, 2025. **10**.
79. Vitaloni, C., D. Shullani, and D. Baracchi, *A comparative study of vision language models for Italian cultural heritage.* Heritage, 2025. **8**(3): p. 95.
80. Foka, A., et al., *Tracing the bias loop: AI, cultural heritage and bias-mitigating in practice.* AI & SOCIETY, 2025. **40**(8): p. 5835–5847.
81. Kaplan, Z. and S. Abrishami, *Integrating HBIM and Big Data analytics for disaster risk management in cultural heritage conservation.* Smart and Sustainable Built Environment, 2026. **15**(5): p. 2038–2064.
82. Felicetti, A., A. Himmiche, and M. Somenzi, *Knowledge graphs and artificial intelligence for the implementation of cognitive heritage digital twins.* Applied Sciences, 2025. **15**(18): p. 10061.
83. Deligiannis, K., et al., *A Machine Learning Framework for Harvesting and Harmonizing Cultural and Touristic Data.* Information, 2025. **16**(12): p. 1038.
84. Talib, M.A., I. Ibrahim, and M.A. Abusirdaneh, *Reusability and benchmarking potential of architectural cultural heritage datasets for generative AI: An analytical study.* Expert Systems with Applications, 2026: p. 130916.
85. Carmona-Martínez, A., A.J. Jara, and A. Asín, *A Sovereign Conversational Assistant Powered by ALIA and Mistral for the AI Act Age: Architecture, Governance, and Evaluation.* Machine Learning and Knowledge Extraction, 2026. **8**(6): p. 155.
86. Wang, H., et al., *Artificial intelligence for sustainable cultural heritage: practical guidelines and case-based evidence.* Sustainability, 2025. **17**(20): p. 9192.
87. Shaikhon, A.M.H., *Contextual ethical framework for artificial intelligence in the management of cultural heritage.* STAR: Science & Technology of Archaeological Research, 2025. **11**(1): p. e2564519.
88. Azadalıyev, S. and O. Akova, *Ethical Dimensions of Artificial Intelligence Applications in the Field of Cultural Heritage.* Anais Brasileiros de Estudos Turísticos: ABET, 2026. **16**: p. 3.

89. Camatti, N., et al., *Cultural heritage reuse applying fuzzy expert knowledge and machine learning: Venice's fortresses case study.* Regional Studies, Regional Science, 2025. **12**(1): p. 225–251.
90. Büyüköztürk, E., et al., *Machine Learning-Based Decision-Support System for the Adaptive Reuse of Historic Buildings: The Case of Salih Sefa Yazar Mansion.* Buildings, 2026. **16**(15): p. 3024.
91. Deng, Z., et al., *The AI-driven transformation of cultural heritage image recognition: a scientometric analysis of knowledge transfer, evolving fronts, and ethical challenges.* Cogent Arts & Humanities, 2026. **13**(1): p. 2707050.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLARİNİN (GES) HESAPLAMASINDA KULLANILAN YAZILIMLARIN ETKİSİ

Yazar: Doç. Dr. Ahmet ŞENPINAR
Fırat Üniversitesi,TBMYO,
asenpinar@firat.edu.tr- 0000-0002-5887-3723

Yazar: Melek EREL
Fırat Üniversitesi,
242141101@firat.edu.tr - 0009-0002-8375-5902

ÖZET

Geleneksel enerji kaynaklarının çevresel zararları ve enerji talebinin artması, güneş enerjisi santrallerini (GES) stratejik olarak temiz enerji çözümü haline getirmiştir. Bu çalışmanın amacı, fotovoltaik sistemlerin teknik tasarımı, enerji üretim potansiyeli ve ekonomik fizibilitesini farklı bölgesel örneklemeler üzerinden analiz ederek güneş enerjisinin santrallerinin sağladığı faydalar, kurulum sırasında kullanılan yazılımların doğruluk oranlarını nasıl olduğunu ortaya koymaktır. Çalışmada, ileri düzey simülasyon modellerinin gerçek üretim değerlerini yüksek doğrulukla tahmin edebildiği ve bu yatırımların dışa bağımlılığı azaltmada önemli rol oynadığı ortaya çıkarmıştır. Analizler kapsamında, üniversite yerleşkeleri, kamu binaları ve belediye tesislerinden oluşan geniş bir örnekleme grubu değerlendirilmiştir. Yöntem olarak, Pvsyst, PVSOL gibi endüstriyel yazılımlar ile sistem tasarımları yapılmış yatırımların, mali olarak geri dönüş süreleri incelenmiştir. Araştırma bulguları, güneş enerji santrallerinin yıllık bazda binlerce ton karbondioksit salınımını engellediğini ve projelerin bölgesel ışınım değerlerine bağlı olarak ortalama üç ile dokuz yıl içerisinde kendisini amorti ettiğini kanıtlamaktadır. Sonuç olarak, güneş enerjisinin hem enerji arz güvenliği hem de ekonomik kalkınma için en kritik yerli kaynak olduğu ve sürdürülebilir bir gelecek enerji potansiyeline büyük katkı sağladığı anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi santrali, fotovoltaik sistem, sürdürülebilirlik.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

1. GİRİŞ

Dünyanın enerjiye talebinin sürekli artması, var olan fosil yakıtların giderek azalması ve çevresel problemlerin giderek büyümesi, sürdürülebilir enerji kaynaklarının önemini giderek daha da artırmıştır. Küresel ısınma ve çevresel sorunların artmasıyla birlikte artan karbon emisyonlarının azaltılması hedefi, ülkeleri yenilebilir enerji politikalarına yönlendirmiştir. Buna bağlı olarak güneş enerjisi, temiz, sürdürülebilir ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olması nedeniyle yenilenebilir enerji teknolojileri arasında önemli bir konuma sahiptir (REN21, 2025). Çağımız toplumlarında ekonomik kalkınmanın sürdürülmesi, teknolojik ilerlemesi ve refah düzeyinin devamlılığı, güvenilir ve kesintisiz enerji kaynaklarına doğrudan bağlıdır (Yaşarsoy, 2024; Şencel, 2025). 21. yüzyılda hızla artan nüfus ve sanayileşme ile birlikte ülkelerin enerji talebi en yüksek seviyeye ulaşmış, ancak bu ihtiyacın büyük bir kısmı halen sınırlı kaynaklara sahip olan ve çevre üzerinde telafisi güç tahribatlar bırakan fosil yakıtlardan karşılanmaktadır (Yaşarsoy, 2024; Gümüş, 2025). Kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynakların kullanımı nedeniyle atmosfere salınan karbondioksit (CO2) ve diğer sera gazı emisyonları, küresel ısınmayı neden olarak iklim krizini çağdaş uygarlığın geleceği için bir tehdit haline getirmiştir (International Energy Agency [IEA], 2014; UNFCCC, 2015). Ülkeler bu tehdidi önlemek için 2015 yılında imzalanan Paris İklim Anlaşması ile küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi döneme göre 2°C'nin altında tutma hedefi, ülkelerin enerji politikalarını düşük karbonlu ve sürdürülebilir kaynakları kullanmasını gerekli kılmıştır (UNFCCC, 2015; Haydaroğlu, 2017). REN21 tarafından yayımlanan Renewables 2025 Global Status Report verilerine göre, 2024 yılı içerisinde dünya genelinde yenilenebilir enerji kapasitesinde yaklaşık 741 GW' lık artış gerçekleşmiş ve bu kapasite artışının büyük bölümü güneş enerjisi sistemlerinden oluşmuştur (REN21, 2025). Aynı raporda, güneş enerjisi yatırımlarının küresel ölçekte rekor seviyelere ulaştığı ve solar PV teknolojilerinin enerji dönüşümünün temel unsurlarından biri hâline geldiği belirtilmektedir. Güneş enerjisinin kullanımının artması yalnızca küresel ısınma için fayda sağlamamakta, aynı zamanda ekonomik ve stratejik avantajlar da sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımlar enerjiye temin etme güvenliğini artırırken dışa bağımlılığı azaltmakta ve çalışma olanaklarını geliştirmektedir. Bunun yanı sıra bazı dezavantajlar da bulunmaktadır. GES sistemlerinde performans kayıpları, sıcaklık etkileri, gölgelenme problemleri, bakım süreçleri ve şebeke entegrasyonu gibi teknik sorunlar sistem verimliliğini doğrudan etkileyebilmektedir (REN21, 2025). Bu nedenle güneş enerji santrallerinin performans analizlerinin yapılması ve enerji üretim verimliliğinin değerlendirilmesi önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında Güneş Enerji Santralleri (GES), güneş ışınlarını fotovoltaik paneller aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir.; sonsuz bir kaynak olması, modüler yapıda kurulum imkânı sunması ve işletme aşamasında karbon salınımı yapmaması nedeniyle fosil yakıtlara karşı en güçlü alternatif olarak kabul edilmektedir (Sürer Taş, 2025; Şencel, 2025). Son yıllarda

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

fotovoltaik teknolojilerde yaşanan gelişmeler, üretim maliyetlerinde yaşanan düşmeler ve enerji verimliliğinin artması sayesinde güneş enerjisi yatırımlarında önemli ölçüde gelişmesine katkı sağlamıştır. Güneş enerjisi teknolojileri, özellikle fotovoltaik (PV) sistemlerdeki verimlilik artışları ve düşen birim maliyetleri sonucunda dünya genelinde en hızlı büyüyen enerji üretim yöntemi haline gelmiştir (Goetzberger ve Hebling, 2000; GSR, 2025). Türkiye, sahip olduğu coğrafi konum nedeniyle yüksek güneşlenme süresine ve önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Türkiye, coğrafi konumu ve "güneş kuşağı" üzerindeki stratejik yerleşimi sayesinde yıllık ortalama 2.741 saat güneşlenme süresine ve 1.527 kWh/m²-yıl ortalama global radyasyon değerine sahip olup, bu alanda Avrupa genelinde lider konuma gelebilecek bir potansiyel barındırmaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı [ETKB], 2024; İçtüzer, 2025). Bu yüksek potansiyelin etkin ve doğru kullanımı, Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığını azaltması, doğal çevrenin tahrip edilmeden enerji üretilmesi ve enerjiye olan talebin güvenliğini yerli kaynaklarla pekiştirmesi kritik bir öneme sahiptir (Yaşarsoy, 2024; Sürer Taş, 2025).

Bir güneş enerjisi santralinin (GES) teknik başarısı ve hedeflenen ekonomik verimliliğe ulaşması, kurulum öncesinde sistemin kurulacağı bölgenin meteorolojik koşullarının ve çevresel faktörlerin titizlikle analiz edilmesine bağlıdır (Haydaroğlu, 2017; Tanış, 2019). PV panellerin enerji üretim kapasitesi; sadece güneş ışınım şiddetine değil, aynı zamanda ortam sıcaklığına, rüzgâr hızına, panel eğim açısına ve panel yüzeyinde biriken toz, kum veya kar gibi kirlilik yaratan faktörlere son derece duyarlıdır (Adeleke, 2023; Mekhilef vd., 2012). Örneğin, kristal silikon hücrelerin sıcaklığı standart test koşullarının (25°C) üzerine çıktığında, her 1°C'lik artış verimlilikte yaklaşık %0,4-0,5 oranında bir kayba yol açmaktadır (Adeleke, 2023; Sürer Taş, 2025). Bu nedenle, projelerin performansını optimize etmek ve üretim tahminleri yapmak amacıyla günümüzde PVSyst, PVSOL ve HelioScope gibi ileri düzey endüstriyel simülasyon yazılımları standart analiz araçları olarak kullanılmaktadır (Mermoud ve Wittmer, 2017; Gümüş, 2025).

Son yıllarda uygulanan yenilenebilir enerji politikaları doğrultusunda lisanslı ve lisanssız güneş enerji santrallerinin sayısında önemsenecek bir artış yaşanmıştır. Özellikle enerji maliyetlerinin yükselmesi ve sürdürülebilir enerji hedefleri doğrultusunda güneş enerjisine yönelik yatırımlar büyük oranda artmıştır. Bu durum, GES sistemlerinin teknik performansının, enerji üretme kapasitesinin ve sistemde meydan gelen kayıplarının detaylı şekilde incelenmesini zorunlu hâle getirmektedir. Günümüzde yapılan akademik ve teknik fizibilite çalışmaları, doğru planlanmış GES projelerinin bölgesel ışınım değerlerine ve yerel elektrik tarifelerine bağlı olarak genellikle 3 ile 9 yıl arasında bir geri ödeme süresine sahip olduğunu göstermektedir (İçtüzer, 2025; Gümüş, 2025; Sürer Taş, 2025). Ayrıca bu tesisler, 25 yıllık ekonomik ömürleri boyunca yıllık bazda binlerce ton CO2 emisyonunu önleyerek karbon nötr hedeflerine direkt olarak katkı sağlamaktadır (Yaşarsoy, 2024; Gümüş, 2025). Santrallerin işletme aşamasındaki performans değerlendirmeleri ise uluslararası IEC 61724 standartlarına göre yapılmakta; Performans Oranı (PR) ve Kapasite Faktörü (CF)

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

gibi metrikler üzerinden sistemin devamlılığı ve sağlığı denetlenmektedir (Haydaroğlu, 2017; Yaşarsoy, 2024).

Bu çalışmada güneş enerji santrallerinin performans verileri, enerji üretim verimliliği ve sistem kayıpları analiz edilerek mevcut durum değerlendirilecektir. Ayrıca uluslararası literatür ve güncel sektör raporları doğrultusunda güneş enerjisi teknolojilerinin gelişimi incelenerek sürdürülebilir enerji sistemlerine faydaları ortaya konulacaktır. Bu çalışma kapsamında; Ankara, Diyarbakır, Elazığ, Burdur, Mardin ve Manisa gibi farklı iklimsel özelliklere sahip illerde kurulu olan veya kurulması planlanan üniversite yerleşkeleri, kamu binaları ve endüstriyel tesisler üzerinden geniş kapsamlı performans analizleri gerçekleştirilmiştir (Haydaroğlu, 2017; İçtüzer, 2025; Gümüş, 2025; Şencel, 2025). Çalışmanın temel amacı, farklı kapasitelerdeki fotovoltaik sistemlerin teknik tasarım kriterlerini incelemek, endüstriyel simülasyon modellerinin gerçek üretim verileriyle uyumunu test etmek ve güneş enerjisinin hem ekonomik kârlılık hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından sağladığı katkıları bilimsel veriler ışığında ortaya koymaktır (Haydaroğlu, 2017; Yaşarsoy, 2024; Sürer Taş, 2025).

2. UYGULAMALAR

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin farklı coğrafi ve iklimsel bölgelerinde olan güneş enerji santrallerinin (GES) teknik tasarımının nasıl yapıldığı, yer seçimi yaparken kullanılan yöntemler ve performans değerlendirme süreçlerinde kullanılan materyaller ile uygulanan bilimsel yöntemler incelenmiştir. Araştırmada kullanılan veriler; saha ölçümleri, kamu kurumlarından erişilen meteorolojik veri tabanları ve endüstriyel simülasyon çıktılarından elde edilen veriler bütünleştirilerek değerlendirilmiştir. Araştırmada çalışma sahaların nasıl seçildiği, teknik sistemler, GES çalışması sonrası analiz sürecine yazılımsal araçların katkısı ve GES' lerin ekonomik katkısı olmak üzere sınıflandırılmıştır.

Çalışma Sahaları ve Veri Kaynakları: Analizler kapsamında Ankara, Diyarbakır, Elazığ, Burdur, Mardin, Manisa, Kilis, Samsun, Şanlıurfa, Karabük ve Konya (Karapınar) illerinde bulunan üniversite yerleşkeleri, kamu binaları, belediye tesisleri ve su havzaları örneklem olarak değerlendirilmiştir (Gümüş, 2025; Haydaroğlu, 2017; İçtüzer, 2025; Kaya, 2025; Kurt, 2024; Öztürk, 2023; Sarsıcı, 2020; Şencel, 2025; Tanış, 2019; Yaşarsoy, 2024). Meteorolojik veriler; Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) istasyonlarından, Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası' ndan (GEPA), NASA POWER veri tabanından ve Meteonorm 8.2 yazılımından temin edilmiştir (Gümüş, 2025; Sürer Taş, 2025; Yaşarsoy, 2024). Bu seminerde çalışmaların karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilecek.

2.1. GES Kurulumundan Önce Kullanılan Yazılımlar

Türkiye'nin farklı illerinde gerçekleştirilen güneş enerjisi santrali (GES) çalışmalarında, teknik tasarım hesaplamaları, performans olasılıkları ve yer seçimi belirlemek amacıyla kullanılan yazılımların karşılaştırmalı analizi şu şekildedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

2.1.1. Tasarım ve Teknik Simülasyon Yazılımları

Bu kategorideki yazılımlar, sistem kayıplarının önceden hesaplanması ve yıllık enerji üretim tahminleri için temel programlar olarak kullanılmaktadır.

- **PVsyst:** Fotovoltaik sektöründe küresel olarak en çok kullanılan simülasyon programıdır. Diyarbakır (Haydaroğlu, 2017), Elazığ (Tanış, 2019), Manisa (Gümüş, 2025), Ankara (İçtüzer, 2025) ve Mardin (Sürer Taş, 2025) illerindeki çalışmalarda temel analiz aracı olarak kullanılmıştır. Program; 3D gölgeleme analizleri, meteorolojik veri dahil ederek (Meteonorm, NASA) ve detaylı sistem kayıplarını hesaplaması sayesinde en kapsamlı analizi ortaya çıkarmaktadır.
- **PVSOL:** Özellikle 3D simülasyon ve çatı tipi projelerin modellenmesinde ön plana çıkmaktadır. Burdur (Şencel, 2025) ve Mardin (Sürer Taş, 2025) projelerinde, sistem bileşenlerinin gerçeğe yakın modellenmesi ve üretim olasılıkları için kullanılmıştır. Diyarbakır (Haydaroğlu, 2017) çalışmasında ise diğer simülasyon programlarına alternatif bir araç olarak değerlendirilmiştir.
- **HelioScope ve SAM (System Advisor Model):** Hızlı tahmini performans analizi ve finansal modellerin simülasyonu için kullanılır. Diyarbakır (Haydaroğlu, 2017) ve Mardin (Sürer Taş, 2025) çalışmalarında ekonomik analizleri desteklemek amacıyla önemli bir araç olarak yer bulmuştur.

2.1.2. Yer Seçimi ve Mekânsal Analiz Yazılımları

Güneş santralleri kurulmadan önce arazinin uygunluğunu test etmek verim için oldukça önemlidir. Bunun için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımları önemli bir rol oynamaktadır.

- **ArcGIS:** Karabük (Sarsıcı, 2020), Kilis (Kurt, 2024), Samsun (Kaya, 2025) ve Burdur (Şencel, 2025) çalışmalarında yer seçimi analizleri için kullanılan temel CBS yazılımıdır. Bu yazılım; eğim, bakı, radyasyon potansiyeli ve enerji hatlarına uzaklık gibi kriterlerin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS/AHP) yöntemiyle derecelendirilmesine ve nihai uygunluk haritalarının üretilmesine olanak tanır.
- **Google Earth Pro:** Samsun (Kaya, 2025) ve Kilis (Kurt, 2024) çalışmalarında, arazinin 3D görselleştirilmesi ve sayısal veri üretme işlemleri için yardımcı araç olarak işlev görür.

2.1.3. Uzamsal Veri Tabanı ve Optimizasyon Araçları

- **Meteonorm:** Diğer simülasyon programlarına referans olan meteorolojik verilerin elde edilmesi için kullanılır. Ankara (İçtüzer, 2025), Mardin (Sürer Taş, 2025) ve Manisa (Gümüş, 2025) çalışmalarında, konuma göre ışınım ve sıcaklık verilerini PVsyst ve PVSOL programlarına aktarmak amacıyla kullanılmıştır.
- **HOMER:** Fotovoltaik sistemlerin rüzgâr veya batarya gibi diğer kaynaklarla birleştiği hibrit yapıları iyileşti ve tekno-ekonomik analizi için Diyarbakır çalışmasında incelenmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

- **PVGIS:** Avrupa Komisyonu tarafından sunulan ücretsiz çevrimiçi bir progran olup, Elazığ (Tanış, 2019) ve Ankara (İçtüzer, 2025) çalışmalarında hızlı bir şekilde enerji üretim tahminleri ve veri doğrulama amacıyla kullanılmıştır.

2.1.4. Karşılaştırma Sonucu

Türkiye'deki akademik çalışmalarda PVsyst teknik doğruluk ve endüstri standardı olması nedeniyle, ArcGIS ise konumsal planlama ve uygunluk analizi yapmasındaki potansiyeli nedeniyle temel yazılımlar olarak öne çıkmaktadır. PVSOL ise özellikle görsel modelleme gerektiren çatı ve arazi projelerinde bu sürece katkı sağlamaktadır.

2.2. GES' lerin Performans Analizleri

Türkiye'nin farklı coğrafi ve iklimsel bölgelerinde yer alan güneş enerjisi santrallerinin (GES) performans analizleri, teknik verimlilik ve mekânsal uygunluk kriterleri bakımından analiz edilmiştir.

2.2.1. Performans Analizi Odaklı İller (Şanlıurfa, Elazığ, Diyarbakır)

Bu gruptaki çalışmalar, mevcut tesislerin gerçek üretim verilerini simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırarak sistem verimliliği incelenmiştir. Güneş enerjisi santrallerinin fonksiyonel başarısını ölçen **Performans Oranı (PR)**, tesislerin kurulu olduğu konumun ışınım ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak değişmektedir

- **Şanlıurfa (Harran Üniversitesi):** 5,31 MW kapasiteli bu tesiste 2021-2023 yıllarını kapsayan analiz sonucunda, yıllık ortalama Performans Oranı (PR) %88,41 ve Kapasite Faktörü (CUF) %18,3 ile %20,3 arasında ölçülmüştür (Yaşarsoy, 2024).
- **Elâzığ:** 1.036,8 kWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı GES' te, yedi aylık gerçek üretimi simülasyonun veri değerlerinden %4,32 daha yüksek çıkmış; sistemin PR değeri yaklaşık %88,17 olarak hesaplanmıştır (Tanış, 2019).
- **Diyarbakır (Dicle Üniversitesi):** 250 kWp gücündeki sistem üzerinde yapılan çalışmada, tesisin gerçek PR değeri yıl içerisinde **%58 ile %99** aralığında seyretmektedir. Özellikle nisan-temmuz dönemindeki gerçek üretimin simülasyon tahminlerinin üstünde olduğunu göstermiştir (Haydaroğlu, 2017).

2.2.2. Mekânsal Uygunluk ve Yer Seçimine Bağlı Performans (Samsun, Kilis, Karabük, Manisa)

Bu illerde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemleri kullanılarak yer seçimin performans değerini en yüksek verime ulaştıracağı sahalar haritalar üzerinde görselleştirilmiştir.

- **Samsun**: Merkez ilçeler arasında yapılan analiz çalışmasında İlkadım ilçesi, %57,69'luk "uygun" ve "çok uygun" alan oranıyla en elverişli bölge olarak belirlenmiştir (Kaya, 2025).
- **Kilis**: İl genelinde yapılan çalışmada GES kurulumuna uygun olan alan toplam arazinin %25,65'ini kapsadığı; en uygun konumların merkezin kuzeyi ve Elbeyli çevresinde yoğunlaştığı sonuçlandırılmıştır (Kurt, 2024).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

- **Karabük**: Orman yoğunluğu ve engebeli topoğrafyası nedeniyle GES kurulumuna uygun alan ilin sadece %7'si (54 km²) olarak hesaplanmış; en yüksek potansiyel Eflani, Safranbolu ve Eskipazar platolarının olduğu alan olarak görülmüştür (Sarsıcı, 2020).
- **Manisa**: Turgutlu yerleşkesinde yapılan analizler sonucunda, çevresel gölgelenme ve panel yüzeyindeki kirlenmenin yarattığı %5-7 ek verim kaybına yol açtığı ve ilin sadece belirli bölgelerinin kurulum için yüksek uygunluk taşıdığı vurgulanmıştır (Gümüş, 2025).

2.2.3. Teknik Tasarıma Bağlı Performans (Ankara, Burdur, Mardin, Kırşehir, Konya)

Bu iller, kamu binaları ve yenilikçi teknolojilerin kullanıldığı projelerle öne çıkmaktadır. Karşılaştırmalı analizlerde yeni nesil panel teknolojilerinin performans üzerindeki etkisi, belirleyici olduğunu ortaya koymaktardır.

- **Ankara (EGO):** Araç Bakım ve Onarım Merkezine kurulan 1.066,7 kW AC gücündeki sistem, kendi enerji tüketimini karşılamaya yönelik kamu tesislerinin çatısına kurulan başarılı bir model olarak görülmüştür (İçtüzer, 2025).
- **Burdur (MAKÜ):** İstiklal Yerleşkesi için planlanan 5,28 MW kapasiteli santralin, şebeke hatlarına olan yakınlığı ve kampüsün enerji ihtiyacını karşılama potansiyeli maliyet avantajı sağladığını raporlamıştır (Şencel, 2025).
- **Mardin (MARSU):** Bölgenin güneşlenme süresinin yüksek olması sayesinde atıksu arıtma tesislerinin enerji yükünü azaltmayı amaçlayan projelerin, çevresel ve ekonomik açıdan oldukça yüksek sürdürülebilirlik sunduğu belirtilmiştir (Sürer Taş, 2025). Çalışmanın en belirgin özelliklerinden biri de Mardin bölgesindeki iklimsel zorluklara karşı geliştirilen modellerdir; panel veriminin yüksek sıcaklıklardan dolayı düşmesi nedeniyle soğutma etkili tasarımlar önerilmiştir (Sürer Taş, 2025).
- **Kırşehir (Hirfanlı Barajı):** Türkiye'deki en özgün çalışmalardan biri olan, arazi tipi GES' e göre yüzer GES sisteminin suyun soğutma etkisiyle yaklaşık %7 daha fazla enerji ürettiği raporlanmıştır (Doğan, 2025).
- **Konya (Karapınar):** 226,4 MWe gücündeki büyük ölçekli projede, bifacial (çift yüzeyli) panel kullanımı ve güneş takip sistemlerinin ekserji verimliliği üzerindeki olumlu etkileri incelenmiştir (Öztürk, 2023). **Konya Karapınar**'daki santralde yapılan ekserji temelli ekonomik analizi değerlendirmeleri, bifacial (çift yüzeyli) panellerin kullanılmış olması verimliliği artırdığını göstermiştir (Öztürk, 2023).

2.2.4. Simülasyon Modelleri ve Gerçek Üretim Uyumluluğu

- Akademik çalışmalarda kullanılan **PVsyst** ve **PVSOL** gibi yazılımların tahmin potansiyeli, saha verileriyle test edilerek yüksek oranda doğrulanmaktadır. **Elâzığ**'daki çalışmada, ocak-temmuz dönemi enerji üretim verilerinin simülasyon sonuçlarıyla yüksek uyuma sahip olduğu, fakat üretimin simülasyon tahminlerinden **%4,32** daha fazla gerçekleştiği bildirilmiştir (Tanış, 2019).
- **Ankara** EGO Bakım-Onarım Merkezi (İçtüzer, 2025) ve **Burdur** MAKÜ İstiklal Yerleşkesi (Şencel, 2025) projelerinde, üç boyutlu (3D) gölgeleme analizleri yapılarak panel yerleşimi değiştirilerek en iyi duruma getirilmiş ve bu sayede sistem kayıplarının

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

minimize edilmesi hedeflenmiştir. **Manisa** Turgutlu yerleşkesi üzerine yapılan simülasyon çalışmalarında ise, panel yüzeyindeki kirlenme ve çevresel gölgelenme gibi faktörlerin verim üzerinde %5-7 oranında ek kayıplara yol açtığı vurgulanmıştır (Gümüş, 2025).

2.3. Emisyon Faktörleri (CO2 salınımı) ve Karşılaştırmalı Değerler

Yaşam döngüsü boyunca güneş enerjisi sistemlerinin ortaya çıkardığı emisyon miktarı, fosil yakıtlı enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında oldukça düşüktür. **Karabük** ilinde yapılan GES sisteminde yapılan çalışmada sunulan verilere göre, fotovoltaik sistemlerin emisyon değeri **217 g e/kWh** iken; bu değer kömürde 1689, petrolde 1170 ve doğal gazda 930 g e/kWh seviyesindedir (Sarsıcı, 2020). Türkiye genelinde elektrik üretimi kaynaklı emisyon faktörü ise farklı çalışmalarda 1 MWh başına **0,439 ton** (Yaşarsoy, 2024) ile **0,442 ton** (Gümüş, 2025) referans olarak alınmaktadır.

2.3.1. İller Bazında Emisyonu Azaltım Performansları

- **Şanlıurfa (Harran Üniversitesi):** İncelenen projeler içinde en detaylı karbon ayak izi verisi bu tesis için ayrıntılı olarak raporlanmıştır. 5,31 MW kapasiteli Harran Üniversitesi GES' in yıllık toplam emisyon önleme miktarları şöyledir:
  - **2021 yılı:** 4.141 ton eşdeğeri,
  - **2022 yılı:** 3.735 ton eşdeğeri,
  - **2023 yılı:** 3.942 ton eşdeğeri olarak hesaplanmıştır (Yaşarsoy, 2024).
- **Manisa (MCBÜ ve MASKİ):** Manisa Celal Bayar Üniversitesi Şehit Prof. Dr. İlhan Varank Yerleşkesi' ndeki GES yatırımı ile ortalama **165 ton CO2 salınımı** engellenmiştir (Gümüş, 2025). Ayrıca Manisa MASKİ bünyesindeki 8 MW' lık GES projeleri aracılığıyla CO2 salınımının önemli ölçüde azaltılarak çevrenin korunduğu vurgulanmıştır (Gümüş, 2025).
- **Diyarbakır (Dicle Üniversitesi):** Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde kurulan 250 kWp' lik tesisin, Paris Anlaşması'nın küresel ısınmayı 2°C'nin altında tutma hedefiyle uyumlu ve temiz enerji oluşumuna katkı sağladığı belirtilmiştir (Haydaroğlu, 2017).
- **Kilis:** İl genelinde GES kurulumuna en uygun olarak belirlenen 253 hektarlık alanın değerlendirilmesiyle, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve sürdürülebilir çevre hedeflerine ulaşılması amaçlanmıştır (Kurt, 2024).
- **Samsun:** Kamu binaları ve üniversite kampüslerinde kurulu GES' lerin, fosil yakıtların çevre üzerindeki geri döndürülemez tahribatların olumsuz etkilerini minimize etmek için stratejik rol oynadığı ifade edilmiştir (Kaya, 2025).

2.3.2. Teknolojik Karşılaştırma ve Çevresel Katkı

Karşılaştırmalı analizlerde, yüzer GES ve çift yüzeyli (bifacial) panel teknolojilerinin emisyon azaltım potansiyelini daha çok artırdığı görülmektedir. Hirfanlı Barajı örneğinde **yüzer GES** sistemlerinin, aynı kurulu güce sahip arazi tipi GES' lere göre yaklaşık **%7 daha fazla** enerji ürettiği, dolayısıyla birim zamanda engellenen CO2 miktarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Doğan, 2025). **Konya Karapınar** gibi

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

mega ölçekli projelerde ise karbon nötr hedeflerine ulaşmada en büyük katkıyı gelişmiş panel teknolojilerinin sağladığı raporlanmıştır (Öztürk, 2023).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Operasyonel Performans Verileri (PR ve CUF)

İnceleme kapsamındaki Güneş Enerjisi Santrallerinin (GES) teknik verimlilikleri, bölgesel iklim koşulları ve teknolojik yapılandırmalar göre dikkate değer farklılıklar olduğunu açıkça göstermektedir. **Şanlıurfa** Harran Üniversitesi'nde kurulu olan 5,31 MW kapasiteli tesiste yapılan üç yıllık analiz sonucunda, yıllık ortalama **Performans Oranı (PR) %88,41** ve **Kapasite Faktörü (CUF) %18,3 ile %20,3** arasında raporlanmıştır (Yaşarsoy, 2024). Bu veriler, aynı iklim kuşağındaki **Elâzığ**'da kurulu olan 2,13 MW' lık santralin **%81,15**'lik PR değeri ile kıyaslandığında daha yüksek bir verim düzeyine sahip olduğunu göstermektedir (Çubukçu & Gümüş, 2020).
Diyarbakır Dicle Üniversitesi yerleşkesindeki 250 kWp kapasiteli sistemde ise mevsimsel verim farklılıkları uç noktalarda gözlemlenmiştir; PR değerleri kış aylarında (aralık-şubat) **%99** seviyelerine çıkarken, mayıs ayında yüksek ortam sıcaklıklarının etkisiyle **%58**'e kadar gerilemiştir (Haydaroğlu, 2017). Bu durum, literatürde vurgulanan "yüksek sıcaklığın panel verimliliğini %15'e kadar düşürebileceği" teziyle uyuşlumudur. (Sürer Taş, 2025).

Tablo 3.1. İncelenen GES Tesislerinin Operasyonel Performans Göstergeleri

İl / Tesis	Kurulu Güç	Performans Oranı (PR)	Kapasite Faktörü (CUF)	Kaynak
Şanlıurfa (Harran Üni.)	5.31 MW	%88,41	%18,3-%20,3	(Yaşarsoy, 2024)
Elâzığ	1 MW	%88,17	%18,86	(Tanış, 2019)
Elâzığ	2.13 MW	%81,15	%13,18	(Çubukçu & Gümüş, 2020)
Kırşehir (Hirfanlı-Yüzer)	1 MW	%88,30	%20,22	(Doğan, 2025)
Kırşehir (Hirfanlı -Arazi)	1 MW	%82,30	%18,89	(Doğan, 2025)
Mardin (MARSU-Tahmin)	72 MWp	%82,40	—	(Sürer Taş, 2025)
Diyarbakır (Dicle Üni.)	250 kWp	%58-%99*	—	(Haydaroğlu, 2017)

**Diyarbakır verileri aylık bazda kışın %99, yazın %58 olarak kaydedilmiştir.*

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3.2. Teknolojik Kurulum Tiplerinin Karşılaştırmalı Analizi

Yüzer GES ve arazi tipi GES sistemlerinin teknik analizlerinden suyun soğutma etkisi belirleyici bir faktör olarak önem kazanmaktadır. **Hirfanlı Barajı** örneğinde yapılan 1 MW ölçekli simülasyon sonuçları, yüzer GES' in yıllık **1.771.618 kWh** enerji üretirken, aynı lokasyondaki arazi tipi santralin ise **1.654.430 kWh** ile daha düşük enerji ürettiği kanıtlamıştır (Doğan, 2025). Yüzer sistemlerin, su kütlesinin sıcaklık kontrolünde sağladığı üstünlük sayesinde yaklaşık **%7** daha fazla enerji ürettiği saptanmıştır (Doğan, 2025).

Konya Karapınar'da yer alan 226,4 MWe kapasiteli mega projede ise, **bifacial (çift yüzeyli)** panellerin ve **tek eksenli güneş takip sistemlerinin** kullanımı sayesinde yüzey yansıtmasından (albedo etkisi) maksimum düzeyde faydalanılarak ekserji verimliliğinin artırıldığı gözlemlenmiştir (Öztürk, 2023). **Ankara EGO** ve **Burdur MAKÜ** projelerinde ise çatı tipi GES uygulamalarının, enerjinin üretildiği noktada tüketilmesiyle iletim kayıplarını minimize ettiği ve kamu binaları için ekonomik bir model sunduğu görülmektedir (İçtüzer, 2025; Şencel, 2025).

Tablo 3.2. Yüzer ve Arazi Tipi GES Teknik, Ekonomik ve Ekolojik Kıyaslaması (1 MW Örneği)

Parametre	Yüzer GES	Arazi Tipi GES	Fark / Avantaj
Yıllık Enerji Üretimi (kWh)	1.771.618	1.654.430	~%7 Artış
Performans Oranı (PR)	%88,3	%82,3	%6 Verim Artışı
Kapasite Faktörü (CUF)	%20,22	%18,89	%1,33 Artış
Amortisman Süresi (Yıl)	5 Yıl	4 Yıl	Arazi Tipi Daha Hızlı
Engellenen (Ton/Yıl)	974,79	910,31	%7 Daha Çevreci

Kaynak: (Doğan, 2025)

3.3. Simülasyon Doğruluğu ve Tahmin Modelleri

Akademik çalışmalarda kullanılan yazılımların gerçek üretim verileriyle olan korelasyonu, yatırım planlaması yaparken kritik önemdedir. **Elâzığ**'daki çalışmada, **PVsyst** simülasyon raporlarının gerçek üretim verilerinden sadece **%4,52** oranında saptığı sonuçlanmıştır (Tanış, 2019). Aynı şekilde **Göksun**'daki bir projede bu sapma payı sadece **%0,203** gibi oldukça düşük bir seviyede gerçekleşerek PVsyst' in teknik tasarım süreçlerindeki güvenilirliğinin yüksek olduğunu kanıtlamıştır (Şahin, 2024).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Tablo 3.3. Seçili İllerde PVsyst Simülasyon Sapma Oranları

İl / Tesis	Gerçek Üretim (MWh/Yıl)	Simülasyon Öngörüsü (MWh/Yıl)	Sapma Oranı (%)	Notlar	Kaynak
Elâzığ (1MW)	996,51*	953,40*	**%4,52**	Gerçek üretim simülasyondan daha yüksek çıkmıştır.	(Tanış, 2019)
Diyarbakır (250 kWp)	385,86	380,60	**%1,38**	Kış aylarında gerçek verimlilik simülasyonun üzerine çıkmıştır.	(Haydaroğlu, 2017)

3.4. Çevresel Etki ve Emisyon Azaltımı

Çalışmalar, GES yatırımlarının karbon nötr hedeflerine olan katkısını belirgin verilerle sunmaktadır. **Mardin** bölgesinde planlanan 60 MW kapasiteli bir projenin 25 yıllık ömrü süresince **124.119 ton** emisyonunu önleyebileceği hesaplanmıştır (Sürer Taş, 2025). **Şanlıurfa** örneğinde ise 5,31 MW'lık tesisin yıllık ortalama **3.940 tona** karşılık gelen salınımı önlediği tespit edilmiştir (Yaşarsoy, 2024).

Tablo 3.4. GES Yatırımlarının Tahmini Karbon Emisyonu Azaltım Performansı

Proje Lokasyonu	Kapasite	Yıllık Azaltımı (Ton)	Öngörülen Sistem Ömrü	Kaynak
Şanlıurfa	5.31 MW	3.940 (Ortalama)	25 Yıl	(Yaşarsoy, 2024)
Mardin (MARSU)	60 MW	4.965 (Yıllık)	25 Yıl (Toplam: 124.119)	(Sürer Taş, 2025)
Burdur (MAKÜ)	5.28 MW	3.435	25 Yıl	(Şencel, 2025)
Manisa (MCBÜ)	Kurumsal	165	—	(Gümüş, 2025)

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinde bulunan güneş enerjisi santrallerinin (GES) çalışma performansları, teknolojik yapıları ve çevresel etkileri akademik literatür verileri ışığında kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin hem teknik olarak verimli hem de bulunduğu bölgeye sağladığı ekonomik geri dönüş açısından stratejik bir öneme sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

4.1. Operasyonel Performans ve İklimsel Duyarlılık

Türkiye'deki GES tesislerinin yıllık ortalama Performans Oranı (PR) değerlerinin ortalama %81 ile %90 bandında seyrederek uluslararası başarı kriterlerini karşıladığı görülmüştür (Yaşarsoy, 2024; Tanış, 2019). Şanlıurfa Harran Üniversitesi (%88,41), Bayburt (%89,04) ve Elâzığ (%88,17) gibi yerlerde bulunan tesislerde elde edilen yüksek verimlilik değerleri, kurulum kalitesinin ve doğru sistem tasarımının önemini kanıtlamaktadır (Başoğlu & Demir, 2022; Tanış, 2019). Ancak yapılan çalışmalar, fotovoltaik sistemlerin çevresel etkenlere karşı aşırı hassas olduğunu; özellikle yüksek sıcaklıklarının panel verimliliğini %15'e varan oranlarda düşürdüğü doğrulamıştır (Sürer Taş, 2025). Diyarbakır örneğinde görüldüğü üzere, kış aylarında düşük sıcaklıkların etkisiyle %99 seviyesine çıkan PR değerleri, yaz dönemlerinde aşırı sıcaklar PR değerini %58'e kadar düşebilmektedir (Haydaroğlu, 2017).

4.2. Teknolojik Konfigürasyonların Verimlilik Üzerindeki Etkisi

Kurulum tipine bağlı yapılan karşılaştırmalar, Türkiye'nin su kaynaklarının güneş enerjisi üretimi için sunduğu potansiyeli vurgulamaktadır. Kırşehir Hirfanlı Barajı üzerinde yapılan tesislerde, yüzer GES (YGES) sistemlerinin su kütlesinin sağladığı doğal soğutma avantajı ile karasal santrallere göre yıllık yaklaşık %7 daha fazla enerji ürettiğini ve PR değerini %6 daha yüksek sergilediğini göstermiştir (Doğan, 2025). Ayrıca, Konya Karapınar'daki devasa projede kullanılan çift yüzeyli (bifacial) paneller ve tek eksenli takip sistemlerinin, albedo etkisinden faydalanarak enerji yoğunluğunu daha da artırdığı saptanmıştır (Öztürk, 2023).

4.3. Simülasyon Doğruluğu ve Planlama Araçları

Yatırım öncesi fizibilite çalışmalarında kullanılan PVsyst ve PVSOL gibi yazılımlar, Türkiye'nin güneş kuşağındaki tahmin etme olasılığının oldukça yüksek olduğu ortaya çıkarmıştır. Elâzığ (%4,52) ve Diyarbakır (%1,38) gibi işletmedeki alanlarında görülen düşük sapma oranları, bu yazılımların yatırım riskini düşürmedeki güvenilirliğini ispatlamıştır (Tanış, 2019; Haydaroğlu, 2017). Ayrıca, topoğrafyanın kısıtlı olduğu bölgelerde CBS ve AHP tabanlı konum analizleri yapan yazılımlar, en uygun alanların belirlenmesi için vazgeçilmez bir ön tarama sistemi olduğu saptanmıştır (Sarsıcı, 2020; Kurt, 2024).

4.4. Ekonomik ve Çevresel Katkılar

GES yatırımlarının Türkiye'deki maliyetini geri ödeme süreleri, bölgenin ışınım şiddetine, kurulum tipine ve kullanılan teknolojik sisteme göre 3 ile 9 yıl arasında değişmektedir (Doğan, 2025; Sürer Taş, 2025). Çevresel açıdan ise Mardin'de planlanan bir projenin 25 yıllık ömrü boyunca 124.119 ton, Şanlıurfa'daki santralin ise yıllık ortalama 3.940 ton CO2 salınımını önleyebileceği saptanmıştır; bu da projelerin karbon nötr hedefleriyle olan tam uyumu ile doğaya olan katkısını göstermektedir (Sürer Taş, 2025; Yaşarsoy, 2024).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

KAYNAKLAR

[1] Başoğlu, M. E., & Kocagöz Demir, B. (2022). A technical evaluation of the performance analysis of Bayburt solar power plant using Helioscope software and according to IEC 61724. *Innovations and Technologies in Engineering*, 128–146

[2] Doğan, N. (2025). *Hirfanlı Barajı'na kurulacak 1 MW gücündeki yüzer güneş enerji santrali ile aynı bölgede 1 MW güçteki arazi tipi güneş enerji santralinin teknik, ekonomik ve ekolojik olarak karşılaştırılması* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

[3] Gümüş, İ. (2025). *Kampüs binası çatısına kurulabilecek fotovoltaik güneş enerji santrali tasarımı ve analizi: Turgutlu yerleşkesi örneği* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Manisa Celal Bayar Üniversitesi

[4] Haydaroğlu, C. (2017). *Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralinin performans analizi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Dicle Üniversitesi

[5] İçtüzer, S. (2025). *Güneş enerji santralinin teknik ve ekonomik analizi: Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü bakım-onarım merkezi güneş enerji santrali çalışması* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Çankırı Karatekin Üniversitesi

[6] Kaya, C. (2025). *Samsun merkez ilçelerde güneş enerjisi santralleri için uygun alanların CBS ile belirlenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi

[7] Kurt, E. (2024). *Kilis ilinde güneş enerjisi santrali (GES) kurulacak alanların CBS ile belirlenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi

[8] Öztürk, M. C. (2023). *Güneş enerjisi santralinin enerji, ekserji, sürdürülebilirlik ve eksergoekonomik analizler ile değerlendirilmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Gazi Üniversitesi

[9 REN21. (2025). *Renewables 2025 Global Status Report Collection*

[10] Sarsıcı, N. (2020). *Karabük ilinde güneş enerji santrali (GES) kurulabilecek alanların çok ölçütlü karar analizi ile tespiti* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Karabük Üniversitesi

[11] Sürer Taş, F. (2025). *Mardin Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin elektrik enerjisini güneş enerjisi panellerinden karşılaması için PVSyst programı ile bir modelin oluşturulması ve yatırımın finansal analizi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Batman Üniversitesi

[12] Şencel, B. (2025). *Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İstiklal yerleşkesinin enerji ihtiyacının güneş enerji santrali ile karşılanabilirliğinin incelenmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

[13] Tanış, Z. (2019). *Elazığ ilinde yer alan şebekeye bağlı fotovoltaik güneş enerjisi santralinin performans analizi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi

[14] Yaşarsoy, M. (2024). *Harran Üniversitesi güneş enerjisi santralinin performans analizi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Harran Üniversitesi

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

MODERN VERİ TABANI SİSTEMLERİNDE GÜVENLİK TEHDİTLERİ VE YAPAY ZEKÂ TABANLI ÇÖZÜMLER

Yüksek Lisans Öğrencisi, Fardin Soltanzadehdizaji

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,

fardin.soltanzadeh@gmail.com - 0009-0006-1098-4148

Asst Prof, Faruk Ayata

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,

farukayata@yyu.edu.tr - 0000-0003-2403-3192

Asst. Prof, Ebubekir Seyyarer

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi,

eseyyarer@yyu.edu.tr - 0000-0002-8981-0266

ÖZET

Bu çalışma, modern veri tabanı sistemlerinin, özellikle NoSQL tabanlı mimarilerin, karşı karşıya olduğu güvenlik tehditlerini ve bu tehditlere karşı geliştirilen yapay zekâ destekli yaklaşımları kapsamlı biçimde incelemektedir. Geleneksel güvenlik mekanizmaları; statik kurallar, erişim kontrolleri ve imza tabanlı sistemler üzerine kurulmuş olup, günümüzün dinamik ve çok katmanlı saldırı senaryoları karşısında çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Yetkisiz erişim, veri sızıntıları, SQL enjeksiyonu ve iç tehditler gibi riskler hem dış saldırganlar hem de insan kaynaklı hatalar nedeniyle veri tabanı güvenliğini ciddi biçimde tehdit etmektedir. Güncel raporlar, veri ihlallerinin büyük bir bölümünde insan faktörünün ve çalınmış kimlik bilgilerinin belirleyici rol oynadığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda çalışma, makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı anomali tespit yöntemlerinin veri tabanı güvenliğinde sunduğu avantajları ele almaktadır. Denetimsiz öğrenme, etiketli veri gerektirmeden yeni saldırı türlerinin tespitini sağlarken; derin öğrenme modelleri, günlük ve sorgu verilerindeki karmaşık örüntüleri öğrenebilmektedir. Literatürde özellikle oto kodlayıcılar, RNN/LSTM mimarileri ve metin tabanlı derin öğrenme yöntemlerinin yüksek doğruluk ve düşük yanlış pozitif oranları sunduğu gösterilmiştir. Ayrıca kullanıcı davranış analizi (UEBA) ve davranışsal biyometri temelli yaklaşımlar, iç tehditlerin ve yetkili hesapların kötüye kullanımının tespitinde kritik bir rol oynamaktadır. Sonuç olarak, çalışma, veri tabanı güvenliğinde tekil ve kural tabanlı çözümler yerine, yapay zekâ destekli, çok katmanlı ve uyarlanabilir güvenlik mimarilerinin benimsenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu tür yaklaşımlar hem mevcut hem de gelecekte ortaya çıkabilecek karmaşık tehditlere karşı daha etkili ve sürdürülebilir bir koruma sağlamaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Anahtar Kelimeler : Veri Tabanı Güvenliği, Güvenlik Tehditleri, Anomali Tespiti, Veri Sızıntısı, İç Tehditler

1. GİRİŞ

Günümüzde veri tabanı sistemleri, özellikle NoSQL tabanlı mimarilerin yaygınlaşmasıyla birlikte, yüksek ölçeklenebilirlik ve esneklik avantajları sunarken aynı zamanda karmaşık ve dinamik bir tehdit ortamına da maruz kalmaktadır. Literatürde yer alan güncel çalışmalar, geleneksel güvenlik mekanizmalarının (erişim kontrolü, statik kurallar ve imza tabanlı yaklaşımlar) modern saldırı senaryoları karşısında çoğu zaman yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır. Bu durum, veritabanı işlemlerinde normal davranıştan sapmaların otomatik ve uyarlanabilir biçimde tespit edilmesini sağlayan yapay zekâ tabanlı yöntemlere olan ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle denetimsiz öğrenme, derin öğrenme ve hibrit makine öğrenmesi yaklaşımlarını temel alan çalışmalar; yetkisiz erişim, veri sızıntısı, SQL enjeksiyonu ve iç tehditler gibi güvenlik ihlallerinin, önceden tanımlı kurallara ihtiyaç duyulmadan tespit edilebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, literatür bulguları yöntemlerin başarımının büyük ölçüde tehdit türüne, veri yapısına ve saldırıların zamansal/davranışsal özelliklerine bağlı olduğunu da vurgulamaktadır. Bu bağlamda, veritabanı güvenliğinin yalnızca teknik açıklar üzerinden değil, saldırı vektörleri ve tehdit ekosistemi bütüncül olarak ele alınmalıdır. İlgili literatür incelendiğinde bu alanda yapılan bazı çalışmalar aşağıda listelenmiştir.

Gadde (2023) çalışmasında, NoSQL veritabanlarında anomali tespiti için yenilikçi bir yapay zeka tabanlı çerçeve önermiştir. Çalışmada, statik güvenlik duvarları, erişim kontrol mekanizmaları ve şifreleme gibi geleneksel güvenlik önlemlerinin gerekli olmakla birlikte, karmaşık ve dinamik saldırılar karşısında çoğu zaman yetersiz kaldığı vurgulanmaktadır. Bu nedenle, olağan dışı erişim desenlerini ve potansiyel güvenlik ihlallerini belirlemek amacıyla denetimsiz öğrenme temelli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Karşılaştırmalı analiz sonuçları, K-Ortalama Kümeleme (K-Means) yönteminin %88.5 doğruluk, %45.4 kesinlik ve %66.0 duyarlılık değerleri sunduğunu; buna karşılık Otokodlayıcı (Autoencoder) modelinin %98.5 doğruluk, %75.4 kesinlik, %92.0 duyarlılık ve %82.6 F1-skoru ile belirgin biçimde daha üstün performans sergilediğini ortaya koymuştur. Bulgular, özellikle derin öğrenme tabanlı otokodlayıcıların karmaşık veri desenlerini daha etkin yakalayabildiğini ve yanlış pozitif oranlarını azalttığını göstermektedir. Bununla birlikte, K-Ortalama yönteminin hızlı çalışması nedeniyle ön filtreleme aşamasında tamamlayıcı bir araç olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir. Mahmood'un (2025) çalışmasında, SQL enjeksiyon saldırılarının tespitinde XGBoost, SVM, Stacking Ensemble ve Soft Voting Ensemble gibi makine öğrenimi ve topluluk yöntemleri değerlendirilmiştir. İlk XGBoost veri seti %96,26 ve %99,52 doğruluk oranlarıyla iyi bir performans gösterirken, ikinci SVM veri seti %96,34 ve %99,51 doğruluk oranları göstermiştir. Stacking Ensemble yöntemi, ilk veri setinde %96,93 ve %96,93 doğruluk oranlarına, ikinci veri setinde ise %96,68 doğruluk oranına sahip olup, topluluk yaklaşımının etkinliğini göstermektedir. Darban ve ark. (2024) tarafından yapılan kapsamlı bir inceleme çalışmasında, zaman serilerinde anomali tespiti için kullanılan öğrenme tabanlı yöntemler sistematik olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, karmaşık ve büyük ölçekli zaman serilerinde anomali tespiti için farklı derin öğrenme modellerinin kullanım alanları, avantajları ve sınırlamaları ele alınmış ve bu yöntemlerin farklı uygulama alanlarındaki potansiyeli

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

değerlendirilmiştir. Landauer ve ark. (2023) çalışmasında, günlük verilerdeki anormallikleri tespit etmek için derin öğrenmeye dayalı yaklaşımlar kullanılmıştır. Çalışmada, RNN, LSTM ve Autoencoder gibi mimarilerin zamana bağlı kalıpları ve sıralı veri yapılarını modellemedeki uygunluğu vurgulanmıştır. Öğrenmeye dayalı modellerin, geleneksel kural tabanlı yaklaşımlara kıyasla karmaşık veri kalıplarını öğrenmede önemli avantajlar sağlayabileceği belirtilmiştir.

Araştırma sonuçları, RNN modellerinin erişim desenlerindeki zamansal bağımlılıkları etkili biçimde yakalayabildiğini ve bu sayede güvenlik tehditlerine işaret eden anormalliklerin tespitinde önemli iyileşmeler sağladığını göstermektedir. Çalışmada %97'lik bir tespit doğruluğu bildirilmiş olup, bu sonuçlar derin öğrenme tabanlı yöntemlerin NoSQL güvenliğinde yüksek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Al Ruşeydi ve Nasır tarafından önerilen çalışmada ise denetimli ve denetimsiz makine öğrenimi yöntemlerini birleştiren hibrit bir anomali tespit çerçevesi geliştirilmiştir. Sorgu günlükleri, erişim desenleri ve ağ trafiği verilerini kullanan sistemde, Random Forest modeli %93.5 doğruluk ve %1.8 gibi düşük bir yanlış pozitif oranı ile en yüksek başarımı göstermiştir. Buna karşılık, K-Ortalama yöntemi yaklaşık 90 ms'lik hızlı tepki süresiyle öne çıkmıştır. Önerilen sistemin, kural tabanlı geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk ve daha düşük hatalı alarm oranları sunduğu; ayrıca SQL enjeksiyonu, yetkisiz erişim ve veri ihlali gibi tehditlere karşı bulut ve IoT ortamlarında etkili bir koruma sağladığı ifade edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, literatürdeki çalışmalar NoSQL veritabanlarında anomali tespiti için yapay zekâ tabanlı yöntemlerin, özellikle denetimsiz ve derin öğrenme yaklaşımlarının, geleneksel güvenlik mekanizmalarına kıyasla daha esnek ve güçlü çözümler sunduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, yöntemlerin performanslarının büyük ölçüde veri yapısı, örnekleme stratejileri ve kullanılan model mimarilerine bağlı olduğu; hibrit ve çok aşamalı yaklaşımların ise gelecekte daha etkili çözümler sunma potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada sunulan yaklaşımın daha iyi konumlandırılabilmesi için, izleyen bölümde öncelikle veri tabanı güvenliğini tehdit eden temel saldırı türleri sistematik biçimde ele alınmakta; yetkisiz erişim, veri sızıntıları, SQL enjeksiyonu ve iç tehditler güncel raporlar ve istatistiksel bulgular ışığında tartışılmaktadır. Bu çerçeve, sonraki bölümlerde ele alınan yapay zekâ destekli güvenlik yaklaşımlarının gerekliliğini ve katkısını kavramsal olarak temellendirmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Verı Tabanı Güvenliğinde Tehdit Türleri

2.1.1. Yetkisiz Erişim ve Veri Sızıntıları

Veri tabanı güvenliğinde en temel tehditlerden ikisi, birbiriyle doğrudan bağlantılı olan yetkisiz erişim ve veri sızıntılarıdır. Yetkisiz erişim, bir saldırganın herhangi bir yasal izne sahip olmadan sistemlere veya verilere ulaşmasıdır. Veri sızıntısı ise bu erişimin ardından hassas bilgilerin izinsiz olarak dışarıya aktarılması sürecini ifade eder. Bu zincirleme tehdit, kuruluşlara ciddi mali yük getirmektedir; IBM'in 2023 Veri İhlali Maliyeti Raporu'na göre, iç kaynaklı tehditlerin de aralarında bulunduğu bu tür ihlallerin ortalama maliyeti 4.90 milyon ABD Doları'nı bulmaktadır (IBM, 2023). Verizon'un

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

2023 DBIR raporu ise, bu ihlallerin büyük çoğunluğunun (%83) dış aktörler tarafından ve temelde finansal kazanç (%95) için gerçekleştirildiğini doğrulamaktadır (Verizon, 2023; ENISA, 2023). Yetkisiz erişim, çeşitli yollarla gerçekleşebilir. Bunların başında, 2023 DBIR'a göre tüm ihlallerin neredeyse yarısından (%49) sorumlu olan "çalınan kimlik bilgilerinin kullanımı" gelmektedir (Verizon, 2023 ; Microsoft, 2023). Zayıf veya tahmin edilebilir şifreler, bu durumu kolaylaştırır. Bir diğer yaygın yöntem ise sosyal mühendislik saldırılarıdır; özellikle kimlik avı (phishing), kullanıcıların giriş bilgilerini ele geçirmek için sıklıkla kullanılır. Rapora göre, sosyal mühendislik vakalarının %98'inden fazlası e-posta yoluyla başlamaktadır (Verizon, 2023; Microsoft, 2023). Ayrıca, yazılım açıklarından yararlanma ve sunucuların veya bulut hizmetlerinin hatalı yapılandırılması gibi teknik zafiyetler de kritik yetkisiz erişim vektörleri arasında yer alır. Veri sızıntılarının arkasında yalnızca dış saldırganlar değil, iç kaynaklı tehditler ve insan hataları da önemli bir yer tutar. DBIR 2023, tüm ihlallerin %74'ünün bir "insan unsurunu" (hata, sosyal mühendislik vb.) içerdiğini ortaya koymuştur (Verizon, 2023; ENISA, 2023). Örneğin, bir çalışanın hassas verileri yanlışlıkla yanlış e-posta adresine göndermesi (misdelivery), veri ihlaliyle sonuçlanan hataların %43'ünü oluşturur. Hatalı yapılandırılmış bulut depolama alanları da sıklıkla kasıtsız veri ifşalarına yol açabilmektedir. İç kaynaklı kötü niyetli faaliyetler ise genellikle finansal kazanç (%89) amacıyla ayrıcalıkların kötüye kullanılması şeklinde ortaya çıkar (Verizon, 2023; IBM, 2023).

2.1.2. SQL Enjeksiyonu ve Saldırı Örnekleri

SQL Injection (SQLi), bir uygulamanın veri tabanıyla olan güven ilişkisini istismar eden kritik bir web uygulama güvenlik açığıdır. Saldırgan, uygulama katmanına kötü niyetli SQL kodları enjekte ederek, veri tabanında yetkisiz veri okuma, değiştirme veya silme işlemleri gerçekleştirebilir. MITRE'nin 2024 CWE Top 25 listesi, SQL Injection'ı (CWE-89) en tehlikeli yazılım zafiyetlerinden biri olarak kabul etmekte ve bu tür saldırıların birçok siber olayın temelini oluşturduğunu vurgulamaktadır. SQL Injection, bu listede 3. sırada yer alarak risk seviyesini açıkça göstermektedir. Bu saldırı türünün kuruluşlara maliyeti oldukça yüksektir. Verizon'un 2023 Veri İhlali Araştırması Raporu (DBIR), "Web Uygulaması Saldırıları"nın incelenen ihlallerin yaklaşık %25'ini oluşturduğunu ve bu saldırıların temelinde sıklıkla zayıf kimlik bilgileri ve SQL Injection gibi açıklardan yararlanmanın yer aldığını belirtmektedir (Verizon, 2023). Bu veriler, SQL Injection'ın sadece yaygınlığını değil, aynı zamanda modern siber tehdit ortamında ne derece kritik ve maliyetli bir risk oluşturduğunu açıkça ortaya koymaktadır. SQL Enjeksiyonu saldırıları, temel olarak bir uygulamanın kullanıcı girdilerini yeterince doğrulamaması ve denetlememesi sonucu ortaya çıkar. OWASP'ın 2017 Top 10 listesinde bu saldırı, A1 kategorisi altında birinci sırada yer alarak en kritik web uygulama güvenlik riski olarak tanımlanmıştır (OWASP, 2017). Bu durum, saldırının sadece yaygın değil, aynı zamanda en eski ve en kalıcı siber tehditlerden biri olduğunu kanıtlamaktadır. Tehdidin teknik boyutu ve ciddiyeti, MITRE'nin CWE-89 (SQL Injection) tanımında resmi olarak belgelenmiştir. CWE, bu zafiyeti, uygulamanın veri tabanına gönderilen SQL komutlarındaki özel elemanların uygun şekilde nötrleştirilmemesi olarak sınıflandırmakta ve bunun kötü amaçlı veri manipülasyonuna

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

veya erişimine izin verdiğini vurgulamaktadır (MITRE, 2023). Verizon 2023 DBIR verileri, bu tür teknik açıklardan yararlanmanın günümüz saldırı ortamındaki yerini netleştirmektedir. Rapora göre, "Bazı Web Uygulaması Saldırıları" kategorisindeki ihlallerin %86'sı "Çalınan kimlik bilgilerinin kullanımı" ile gerçekleşse de geri kalan kısmın önemli bir bölümü "Exploit vuln" (Açıklardan Yararlanma) eylemine aittir ve bu, SQL Enjeksiyonu gibi yazılımsal zafiyetleri doğrudan kapsar (Verizon, 2023; MITRE, 2024). Pratikte, bir kullanıcı giriş formuna kullanıcı adı alanına ' OR '1'='1 gibi basit bir yük (payload) girilmesi, arka planda oluşturulan SQL sorgusunun mantığını değiştirerek kimlik doğrulama mekanizmasını atlayabilir ve saldırgana yetkisiz erişim sağlayabilir. Daha gelişmiş senaryolarda ise saldırganlar, UNION saldırıları ile veri tabanından hassas bilgileri çekebilir, hatta veri tabanı sunucusu işletim sistemi üzerinde dosya okuma/yazma işlemleri gibi daha yüksek ayrıcalıklar elde edebilir. Bir SQL Enjeksiyon saldırısının başarılı olması, kuruluş için çok yönlü ve ağır sonuçlar doğurabilir. DBIR'ın "Nitelikler" (Attributes) başlığı altında tanımladığı üzere, bu saldırılar doğrudan verinin gizliliğini (Confidentiality) ve bütünlüğünü (Integrity) ihlal eder (IBM, 2023). IBM raporu, bir veri ihlalini tanımlama ve durdurmanın ortalama 204+73 gün (9 ay) sürdüğünü belirtmektedir; bu süre boyunca saldırgan veri tabanına sınırsız erişim sağlayabilir (IBM, 2023). Saldırgan bu erişimi kullanarak, veri tabanında bulunan hassas kişisel verileri (KHD), ticari sırları, finansal kayıtları ve kimlik bilgilerini çalabilir, değiştirebilir veya silebilir.Bu durum, doğrudan maddi kayıplara yol açmanın yanı sıra, kurumsal itibarın ciddi şekilde zedelenmesine, müşteri kaybına ve KVKK/GDPR gibi veri koruma düzenlemelerinden dolayı ağır idari yaptırımlara ve cezalara maruz kalınmasına neden olur. Ayrıca, saldırganın veri tabanı tablolarını silmesi veya değiştirmesi, sistemin kullanılabilirliğini (Availability) ortadan kaldırarak operasyonel süreçleri felce uğratır, iş sürekliliğini tehdit eder ve uzun süren kesintilerle başa çıkma maliyetini daha da artırır .

2.1.3. İç Tehditler ve Veri Manipülasyonu

İç tehditler, bir kuruluşun kendi çalışanları, iş ortakları veya yüklenicileri tarafından gerçekleştirilen ve veri tabanı güvenliği için en kritik risklerden birini oluşturan faaliyetlerdir. Verizon'un 2023 DBIR raporuna göre, iç aktörler tüm veri ihlallerinin %19'undan sorumludur (Verizon, 2023). Bu tehditler, motivasyon ve niyet temelinde üç ana kategoride sınıflandırılabilir: Bu kategori, yetkili kullanıcıların kasıtlı olarak zarar verme niyetiyle sistemleri veya verileri kötüye kullanmasını kapsar. IBM'in 2023 Veri İhlali Maliyeti Raporu, iç kaynaklı ihlallerin ortalama maliyetinin 4.90 milyon ABD Doları olduğunu ve bunun genel ortalamanın üzerinde yer aldığını belirtmektedir (IBM, 2023). DBIR 2023, bu tür kötü niyetli iç eylemlerin başlıca motivasyonunun (%89) finansal kazanç olduğunu ortaya koymaktadır (Verizon, 2023; IBM, 2023). Örneğin, ayrılmak üzere olan bir çalışanın müşteri veri tabanını kopyalaması veya bir sistem yöneticisinin ticari sırları rakip bir firmaya satması, bu kapsamdaki en tehlikeli senaryolardır. Kasıtsız iç tehditler, çalışanların herhangi bir kötü niyet olmadan, dikkatsizlik veya bilgisizlik sonucu güvenlik ihlallerine yol açtığı durumlardır. DBIR 2023, tüm ihlallerin %15'inin "Hata" (Error) kategorisine girdiğini ve bunların %43'ünün hassas bilgilerin yanlış kişiye gönderilmesi (Misdelivery) olduğunu

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

bildirmektedir (Verizon, 2023). Bir çalışanın hassas bir Excel tablosunu yanlış e-posta adresine göndermesi veya veri tabanı yedeklerinin halka açık bir bulut depolama alanına yanlışlıkla yüklenmesi, bu türün yaygın örnekleridir. Bu hatalar, genellikle yetersiz güvenlik farkındalığı ve karmaşık iş süreçlerinden kaynaklanır. Bu senaryo, bir dış saldırganın, örneğin bir kimlik avı saldırısı yoluyla bir iç kullanıcının kimlik bilgilerini çalması ve ardından bu geçerli kimlik bilgilerini kullanarak sisteme yetkisiz erişim elde etmesi durumunda ortaya çıkar. Verizon'un "2023 Data Break Investigations Report (DBIR)" verileri, çalınan kimlik bilgilerinin kullanımının en yaygın başlangıç vektörlerinden biri olduğunu ve tüm veri ihlallerinin %49'unda yer aldığını göstermektedir (Verizon, 2023; Microsoft, 2023). Bir saldırgan bir çalışanın e-posta veya veritabanı erişim bilgilerini ele geçirdiğinde, artık sistem içinde "iç tehdit" kılığında dolaşabilir, verileri manipüle edebilir veya sızdırabilir. Bu durum, iç tehdit yönetiminde çok faktörlü kimlik doğrulama (MFA) gibi güçlü kimlik doğrulama yöntemlerinin ve kullanıcı hesabı etkinliğinin sürekli izlenmesinin kritik önemini vurgulamaktadır.

2.2. Yapay Zeka Destekli Güvenlik Yaklaşımları

2.2.1. Anomali tespit sistemlerinde makine öğrenmesi

Veri tabanı işlemlerinde anomali tespiti, finans ve sağlık gibi önemli alanlarda büyük bir öneme sahiptir. Geleneksel kural tabanlı ve istatistiksel yöntemler, genellikle çok fazla yanlış alarm üretmekte ve yeni saldırı türlerine uyum sağlamakta zorlanmaktadır. Ayrıca, bu yöntemler dengesiz veri kümelerinde etkili bir şekilde çalışamamaktadır. Bu nedenle, sabit yapıya sahip bu yaklaşımlar, günümüz veri tabanlarının karmaşık ve sürekli değişen yapısı karşısında yetersiz kalmaktadır. Makine öğrenimi yöntemleri, özellikle Pekiştirmeli Öğrenme, verilerle etkileşim kurarak öğrenebilme ve değişen koşullara uyum sağlama yeteneğine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde, geleneksel yöntemlerin eksik kaldığı noktaları tamamlamaktadır. Sonuç olarak, giderek gelişen tehdit ortamında veri tabanı güvenliğini sağlamak için makine öğreniminin kullanımı artık bir seçenek değil, bir gereklilik haline gelmiştir (Reddy, 2025) ML ile anomali tespiti, temelde iki paradigama dayanır: Denetimli (Supervised) ve Denetimsiz (Unsupervised) Öğrenme. Denetimli öğrenme (Supervised) verilerde tutarlı kararlar verebilir ve model performansı kolayca ölçülebilir. Ancak, pratik uygulamada anomalilere ait etiketli verilerin nadir ve elde etmesi maliyetli olması en yaklaşımlarının temel gücü, banka verilerindeki anomali tespiti için etiketlenmiş eğitim verisi olduğunda yüksek doğrulukta sınıflandırma yeteneğidir. Bu yöntemler, normal davranış ile anomali arasındaki ayrımı keskin bir şekilde öğrenerek yeni büyük dezavantajdır; bu da sınıf dengesizliğine yol açarak model eğitimini zorlaştırır ve yeni, bilinmeyen anomali türlerini tespit etmede başarısız olabilir (Chandola, 2009). Öte yandan, Denetimsiz öğrenme (Unsupervised) yöntemlerinin kritik avantajı, herhangi bir etiketli veri gerektirmemesidir. Bu esneklik, bu tekniklerin henüz tanımlanmamış veya daha önce hiç görülmemiş anomali türlerini dahi etkili bir şekilde tespit etmesine olanak tanır, çünkü sadece normal davranış modeline olan sapmalara odaklanırlar. Ne var ki, bu yaklaşımlar anomalilerin nadir olduğu ve normal verilerden istatistiksel olarak belirgin şekilde farklı olduğu varsayımına dayanır; bu varsayımın ihlali, özellikle normal,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

anomali sınırının belirsiz olduğu durumlarda, yanlış pozitif (false positive) alarm oranını artırabilir (Chandola , 2009).

2.2.2. Derin öğrenme tabanlı saldırı tespiti

Veri tabanı güvenliği, özellikle SQL enjeksiyonu ve benzeri saldırı türlerinin karmaşıklığı arttıkça daha sofistike teknikler gerektirmektedir. Geleneksel makine öğrenmesi yöntemleri, sınırlı özellik mühendisliği ve statik kurallar nedeniyle gelişmiş saldırı desenlerini tespit etmekte zorluk yaşamaktadır. Bu bağlamda, derin öğrenme tabanlı modeller, veri tabanı günlükleri ve sorgu verilerindeki karmaşık ilişkileri otomatik olarak öğrenebilme kapasitesi sayesinde güvenlik ihlallerini daha etkili bir şekilde belirleyebilmektedir (Landauer ve ark., 2023). Derin öğrenme modelleri, ham verilerden hiyerarşik özellik temsilleri çıkararak saldırı desenlerini ayırt etmeyi kolaylaştırır. Örneğin, log verilerinin anomali tespitinde kullanılan sinir ağı mimarileri, normal ve anormal etkinlikler arasındaki ince farkları öğrenebilir. Bu tür modeller, önceden tanımlanmış kurallara dayanmak yerine verinin kendi içsel yapısını kullanarak temsil öğrenirler ki bu da özellikle büyük hacimli veri kümelerinde daha dayanıklı sonuçlar üretir. Anomali tespitinde RNN, LSTM veya Autoencoder gibi mimariler sıklıkla tercih edilir; çünkü bu mimariler, zaman bağlamlı örüntüleri ve ardışık veri yapısını daha iyi modelleyebilirler (Landauer ve ark., 2023). Veri tabanı saldırılarına özgü bir diğer kritik alan SQL enjeksiyon davranışıdır. SQL enjeksiyon saldırıları, kötü amaçlı komutları sorgulara enjekte ederek veri ihlallerine ve yetkisiz erişime yol açar. Derin öğrenme temelli bir yaklaşım, SQL sorgularındaki dilsel ve yapısal örüntüleri modellemek için yerel özellikleri çıkarmada TextCNN + Bi-LSTM gibi yöntemler kullanır. Bu, hem kelime düzeyindeki bağlamı hem de ardışık ilişkileri yakalayarak saldırı yaşayan ve sağlam sorgular arasındaki farkları doğru şekilde belirler. Bu yaklaşım, klasik makine öğrenmesi algoritmalarına göre daha yüksek doğruluk ve daha düşük yanlış pozitif oranları ile saldırıları tanımlamada avantaj sağlar (Mahmood, 2025). Derin öğrenmenin veri tabanı güvenliğinde en önemli avantajlarından biri, manuel özellik mühendisliği ihtiyacını azaltmasıdır. Özellikle SQL enjeksiyonu gibi yapısal saldırı türlerinde, modelin veri içindeki latent temsil becerisi, her yeni saldırı örneğini bağımsız olarak ele alabilme yeteneği sağlar. Buna karşılık, makine öğrenmesi tabanlı yöntemler genellikle elle seçilmiş özelliklere dayanmak zorunda kaldıkları için veri dağılımındaki küçük değişikliklere karşı hissas olabilirler. Bu da özellikle gerçek dünya veri setlerinde performans kaybına yol açabilir (Landauer ve ark., 2023; Mahmood, 2025). Her ne kadar derin öğrenme yaklaşımları SQL enjeksiyonu ve log anomali tespiti gibi veritabanı güvenlik görevlerinde üstün performans gösterse de, bu yöntemler yüksek miktarda eğitim verisi ve hesaplama kaynağı gerektirir. Özellikle büyük sinir ağı modellerinin eğitimi GPU/TPU gibi güçlü donanımlar olmadan pratik olmayabilir. Ayrıca, derin öğrenme modellerinin yorumlanabilirliği sınırlı olduğu için güvenlik analistleri tarafından elde edilen sonuçların açıklanması zor olabilir. Bu dezavantaj, özellikle regüle edilen veya kritik sistemlerde karar verme süreçlerinde dikkatle ele alınmalıdır (Landauer ve ark., 2023). Sonuç olarak, derin öğrenme yaklaşımları veri tabanı güvenliğinde anomali ve saldırı tespitini otomatikleştirerek ve geleneksel yöntemlerin sınırlarını aşarak önemli avantajlar sunar. Derin öğrenme

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

tabanlı modeller, özellikle büyük ve karmaşık veri setlerinde yüksek doğruluk ve düşük hata oranları ile saldırı desenlerini ayırt edebilir; bununla birlikte eğitim gereksinimleri ve yorumlanabilirlik zorlukları gibi sınırlamalar da dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, uygulanacak sistemin kaynakları ve veri özellikleri göz önünde bulundurularak doğru mimari seçimi yapmak kritik öneme sahiptir.

2.2.3. Davranış analizi ve kullanıcı profilleme

Bugün siber güvenlik yaklaşımları, sadece dışarıdan gelen saldırıları engellemekle sınırlı kalamaz. Özellikle kritik öneme sahip varlıklar olan veri tabanlarının güvenliği söz konusu olduğunda, tehdidin içeriden gelebileceği (İç Tehditler) gerçeği, yeni nesil savunma mekanizmalarını zorunlu kılmaktadır. Geleneksel güvenlik sistemlerinin atladığı veya yasal izinlerle yapılan ancak kötü niyetli olabilecek bu faaliyetlerin tespiti için Kullanıcı ve Varlık Davranış Analitiği (UEBA- User and Entity Behavior Analytics) kilit rol oynamaktadır. UEBA sistemleri, Yapay Zekâ (YZ) ve Makine Öğrenimi (ML) algoritmalarını kullanarak büyük veri kümelerini analiz eder ve her bir kullanıcının sisteme erişim zamanları, erişim sıklığı, kullandığı komutlar ve dosya indirme hacimleri gibi veriler üzerinden normal bir davranış kalıbı (Baseline Profil) oluşturur (SearchInform, 2024). Bu profil, veritabanı güvenliği bağlamında, kullanıcının "normal" faaliyetlerinin bir haritasını sunar. Bu temel davranış setinden herhangi bir sapma, potansiyel bir tehdit olarak anında işaretlenir ve güvenlik birimlerine iletilir. Örneğin, normalde yalnızca raporlama için kullanılan bir veritabanı hesabının aniden yüksek hacimli veri transferi başlatması veya alışılmadık saatlerde yönetici komutları çalıştırması, sistemin normal davranış profilinden önemli bir sapmadır. SearchInform tarafından belirtildiği üzere, UBA'nın temel avantajı, meşru kimlik bilgileri kullanılarak sisteme sızmış bir bilgisayar korsanının veya kötü niyetli bir iç çalışanın alışılmışın dışındaki hareketlerini anında tespit etme yeteneğidir (SearchInform, 2024). Bu, kural tabanlı sistemlerin kaçırabileceği nüansları yakalamada hayati öneme sahiptir. Kullanıcı profilini oluşturmanın ve iç tehditleri tespit etmenin ötesinde, YZ destekli davranış analizi, veritabanı erişimi gibi hassas işlemler sırasında kullanıcı kimliğinin sürekli olarak doğrulanmasını sağlar. Bu yaklaşım, Davranışsal Biyometri (Behavioral Biometrics) olarak adlandırılır (IBM, 2024). Statik şifrelerin veya tek seferlik kimlik doğrulamaların aksine, davranışsal biyometrikler kullanıcının sistemle etkileşim şeklini pasif ve kesintisiz bir şekilde analiz eder. IBM'e göre, bu biyometrik faktörler arasında kullanıcının klavye vuruş hızı ve ritmi (keystroke dynamics), fare hareketlerinin akıcılığı ve hızı, hatta dokunmatik ekran kullanımındaki kendine özgü desenler yer alır (IBM, 2024). Bu teknikler, bir kullanıcı veritabanına giriş yaptıktan sonra dahi sürekli olarak izlenir. Şayet oturum sırasında kullanıcının fare hareketleri veya klavye ritmi aniden değişirse (örneğin, bir robotun devraldığını veya yetkisiz bir kişinin cihazı kullandığını düşündürecek kadar robotikleşirse), sistem bunu anormal bir durum olarak değerlendirir. Böylece, ayrıcalıklı kullanıcı hesaplarının (Privileged User Accounts) veri tabanı üzerindeki faaliyetleri, çalınan kimlik bilgileriyle bile olsa, anlık olarak sorgulanır ve veri tabanı güvenliğine sürekli bir koruma katmanı eklenmiş olur.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, modern veritabanı sistemlerinin karşı karşıya olduğu güvenlik tehditlerini bütüncül bir bakış açısıyla ele alarak, geleneksel savunma mekanizmalarının sınırlarını ve yapay zekâ destekli yaklaşımların bu sınırlamaları aşmadaki potansiyelini ortaya koymuştur. Literatürde incelenen güncel çalışmalar, özellikle NoSQL tabanlı ve yüksek hacimli veritabanı ortamlarında, statik kural setlerine dayalı güvenlik önlemlerinin karmaşık saldırı örüntülerini tespit etmekte yetersiz kaldığını açıkça göstermektedir. Yetkisiz erişim, veri sızıntıları, SQL enjeksiyonu ve iç tehditler gibi farklı saldırı türlerinin çoğu zaman birbiriyle ilişkili ve dinamik yapıda olması, daha esnek ve uyarlanabilir güvenlik çözümlerine duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Bu bağlamda, makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı anomali tespit yaklaşımlarının, veritabanı güvenliğinde önemli avantajlar sunduğu görülmüştür. Denetimsiz öğrenme yöntemleri, etiketli veri gereksinimini ortadan kaldırarak daha önce karşılaşılmamış saldırı türlerini tespit edebilme kapasitesi sunarken; derin öğrenme mimarileri, veritabanı günlükleri ve sorgu verilerindeki karmaşık ve zamansal örüntüleri otomatik olarak öğrenebilme yetenekleri sayesinde daha düşük yanlış pozitif oranları ile öne çıkmaktadır. Özellikle otokodlayıcılar, RNN/LSTM tabanlı modeller ve metin tabanlı derin öğrenme yaklaşımları, SQL enjeksiyonu ve davranışsal anomali tespitinde literatürde tutarlı biçimde yüksek doğruluk değerleri üretmiştir. Çalışmada ayrıca, kullanıcı davranış analizi ve profil oluşturma yaklaşımlarının, iç tehditlerin ve çalınmış kimlik bilgileriyle gerçekleştirilen saldırıların tespitinde kritik bir rol oynadığı vurgulanmıştır. UEBA ve davranışsal biyometri temelli çözümler, yalnızca erişim anını değil, oturum süresince devam eden etkileşimleri izleyerek veritabanı güvenliğine sürekli ve çok katmanlı bir koruma sağlamaktadır. Bu durum, özellikle ayrıcalıklı kullanıcı hesaplarının oluşturduğu risklerin azaltılmasında önemli bir avantaj sunmaktadır. Sonuç olarak, veritabanı güvenliğinin etkin biçimde sağlanabilmesi için tek bir yöntem veya teknolojiye dayalı çözümlerin yeterli olmadığı; aksine, tehdit türü, veri yapısı ve sistem gereksinimleriyle uyumlu, yapay zekâ destekli ve çok katmanlı güvenlik mimarilerinin benimsenmesi gerektiği açıkça ortaya çıkmıştır. Gelecek çalışmalarda, hibrit makine öğrenmesi yaklaşımlarının gerçek zamanlı sistemlerde uygulanması, model açıklanabilirliğinin artırılması ve farklı veritabanı mimarileri üzerinde ölçeklenebilirlik analizlerinin yapılması, bu alandaki araştırmalar için önemli ve gerekli yönelimler olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Al Ruşeydi, A., & Nasır, M. (2022). Hybrid machine learning framework for anomaly detection in NoSQL databases. Journal of Cloud Computing, 11(1), 34. https://doi.org/10.1186/s13677-022-00295-4

Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. ACM Computing Surveys, 41(3), 1–58.

https://doi.org/10.1145/1541880.1541882

Darban, Z. Z., et al. (2024). Deep learning for time series anomaly detection: A survey. *ACM Computing Surveys*, *57*(1), 1-42. https://doi.org/10.1145/3691338

ENISA. (2023). ENISA threat landscape 2023. Erişim tarihi: 20 Ağustos 2026, https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/publications/ENISA%20Threat%20Landscape%202023.pdf

Gadde, H. (2023). AI-driven anomaly detection in NoSQL databases for enhanced security. Preprint. Erişim tarihi: 3 Aralık 2025

https://www.researchgate.net/profile/Amelia-Ethan/publication/385720663_AI-Driven_Anomaly_Detection_in_NoSQL_Databases_for_Enhanced_Security/links/6732c19a69c07a411444cc7d/AI-Driven-Anomaly-Detection-in-NoSQL-Databases-for-Enhanced-Security.pdf

IBM Security. (2023). Cost of a data breach report 2023. Erişim tarihi: 22 Ağustos 2026, https://www.securityhq.com/thank-you-report/cost-of-a-data-breach-report-2023

IBM Security. (2024). X-Force threat intelligence index 2024. Erişim tarihi: 23 Ağustos 2026, https://www.scribd.com/document/713407729/IBM-XForce-Threat-Intelligence-Index-2024

IBM. (2024). What is behavioral biometrics? Erişim tarihi: 3 Aralık 2025, https://www.ibm.com/think/topics/behavioral-biometrics

Landauer, M., Onder, S., Skopik, F., & Wurzenberger, M. (2023). Deep learning for anomaly detection in log data: A survey. https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2023.100470

Mahmood, S. S. (2025). SQL injection detection using machine learning and explainability. Journal of Information Systems and Informatics Security. Erişim tarihi: 25 Ağustos 2026

https://jisis.org/wp-content/uploads/2025/07/2025.I2.022.pdf

MITRE. (2023). CWE-89: SQL injection. Erişim tarihi: 2 Aralık 2025, https://cwe.mitre.org/data/definitions/89.html

MITRE. (2024). CWE top 25 most dangerous software weaknesses. Erişim tarihi: 2 Aralık 2025, https://cwe.mitre.org/top25/archive/2024/2024_cwe_top25.html

Microsoft. (2023). Microsoft Digital Defense Report 2023 (Executive Summary). Erişim tarihi: 25 Ağustos 2026.https://www.microsoft.com/content/dam/microsoft/final/en-us/microsoft-brand/documents/MDDR-2023-executive-summary.pdf

OWASP Foundation. (2017). OWASP top 10 web application security risks – Injection. Erişim tarihi: 2 Aralık 2025, https://owasp.org/www-project-top-ten/2017/A1_2017-Injection

Reddy, S. (2025). Adaptive anomaly detection in database transactions: Bridging security gaps with reinforcement learning. European Journal of Artificial Intelligence. https://doi.org/10.24018/ejai.2025.4.2.53

SearchInform. (2024). The importance of user behaviour analytics (UBA) in modern cybersecurity. Erişim tarihi: 3 Aralık 2025, https://searchinform.com/articles/cybersecurity/analytics/uba/

SearchInform. (2024). UEBA explained: Boosting security with behavioral analytics. Erişim tarihi: 3 Aralık 2025, https://searchinform.com/articles/cybersecurity/analytics/ueba/

Verizon Business. (2023). 2023 data breach investigations report (DBIR). Erişim tarihi: 26 Ağustos 2026, https://www.researchgate.net/publication/371445421_DBIR_2023_Data_Breach_Investigations_Report_10K_20K_30K_About_the_cover

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

İKİLİ SINIFLANDIRMADA DENGESİZ VERİ İLE MÜCADELE: 20 VERİ SETİ ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRME

Dr. Öğr. Üyesi ERDİNÇ KARAKULLUKÇU
Karadeniz Teknik Üniversitesi,
erdinc.karakullukcu@ktu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8805-1694

ÖZET

Sınıf dengesizliği, ikili sınıflandırma problemlerinde özellikle azınlık sınıfının doğru tanınmasını güçleştiren ve geleneksel performans ölçütlerinin yanıltıcı sonuçlar vermesine neden olabilen önemli bir problemdir. Bu çalışmada, dengesiz ikili sınıflandırma verilerinde farklı yeniden örnekleme ve topluluk öğrenmesi yöntemlerinin performans üzerindeki etkisi 20 veri seti üzerinde sistematik bir karşılaştırmalı değerlendirme ile incelenmiştir. Karşılaştırmada Naif Bayes, Destek Vektör Makineleri ve Karar Ağacı yöntemlerinin yanı sıra Alt Örnekleme + Karar Ağacı, SMOTE (Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği) + Karar Ağacı, SMOTE-Torbalama, SMOTE-AdaBoost, Kolay Topluluk ve Dengeli Rastgele Orman yöntemleri değerlendirilmiştir. Deneysel tasarım, üç farklı rastgele tohum ile gerçekleştirilen beş katlı tabakalı çapraz doğrulama yaklaşımına dayanmaktadır. Birincil performans ölçütü dengeli doğruluk olarak belirlenirken, F1 skoru ve doğruluk tamamlayıcı ölçütler olarak kullanılmıştır. Tekrarlanan çapraz doğrulama sonuçlarının bağımsız gözlem sayılmasını önlemek amacıyla sonuçlar öncelikle veri seti düzeyinde toplulaştırılmıştır. Daha sonra yöntemler, Karar Ağacı taban yöntemine karşı eşleştirilmiş Wilcoxon işaretli sıralar testi kullanılarak karşılaştırılmış ve çoklu karşılaştırmalar Holm yöntemiyle düzeltilmiştir. Ayrıca, sınıf dengesizlik oranı ile performans değişimleri arasındaki ilişki Spearman korelasyonu ile incelenmiştir. Bulgular, altı dengesizlik giderme yönteminden beşinin dengeli doğruluk açısından Karar Ağacı'na göre istatistiksel olarak anlamlı artış sağladığını göstermiştir. En yüksek ortalama dengeli doğruluk Dengeli Rastgele Orman yöntemi için bulunmuştur. Bununla birlikte, dengeli doğruluktaki artışlar her zaman F1 skoru veya doğruluk artışıyla birlikte gerçekleşmemiştir. Sonuçlar, dengesiz sınıflandırmada yöntem performansının kullanılan ölçüte bağlı olduğunu ve değerlendirmelerin yalnızca doğruluğa dayandırılmaması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sınıf dengesizliği, ikili sınıflandırma, topluluk öğrenmesi, yeniden örnekleme, dengeli doğruluk

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

IMBALANCED DATA HANDLING IN BINARY CLASSIFICATION: A COMPARATIVE EVALUATION ON 20 DATASETS

Asst. Prof. Dr. ERDİNÇ KARAKULLUKÇU
Karadeniz Technical University,
erdinc.karakullukcu@ktu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8805-1694

SUMMARY

Class imbalance is a common challenge in binary classification and may lead conventional performance measures to provide a misleading view of classifier behavior, particularly when the minority class is of primary interest. In this study, the effect of different resampling and ensemble learning methods on performance in imbalanced binary classification data was investigated through a systematic comparative evaluation on 20 datasets. Nine methods were compared, including Naive Bayes, Support Vector Machine, Decision Tree, Undersampling with Decision Tree, SMOTE with Decision Tree, SMOTE-Bagging, SMOTE-AdaBoost, Easy Ensemble, and Balanced Random Forest. The experimental design combined five-fold stratified cross-validation with three random seeds. Balanced Accuracy was defined as the primary performance measure, while F1 and Accuracy were used as complementary measures. To avoid treating repeated cross-validation observations as independent datasets, results were first aggregated at the dataset level. The imbalance handling methods were then compared with the Decision Tree baseline using paired Wilcoxon signed-rank tests with Holm correction. In addition, Spearman correlation was used to examine the relationship between imbalance ratio and dataset-level performance changes. The results showed that five of the six imbalance handling methods produced statistically significant improvements in Balanced Accuracy over the Decision Tree baseline. The highest average balanced accuracy was found for the Balanced Random Forest method. However, improvements in Balanced Accuracy were not consistently accompanied by improvements in F1 or Accuracy. These findings demonstrate that the effect of imbalance handling is strongly metric-dependent and that classifier evaluation should consider multiple complementary performance measures rather than Accuracy alone.

Keywords: Class imbalance, binary classification, ensemble learning, resampling, balanced accuracy

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ENERJİ FARKINDALIKLI ÖDÜL FONKSİYONU İLE ROBOT KOLU HAREKET KONTROLÜ: PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME TABANLI BİR YAKLAŞIM

Harun Reşit Karaca
Malatya Turgut Özal Üniversitesi
harunrstkaraca@gmail.com – 0009-0007-1349-0888

Dr. Öğr. Üyesi Ali Fatih Gündüz
Malatya Turgut Özal Üniversitesi
fatih.gunduz@ozal.edu.tr - 0000-0002-3838-6813

ÖZET

Bu çalışma, iki serbestlik dereceli düzlemsel bir robot kolunun hedef konuma hem doğru hem de enerji açısından ekonomik biçimde ulaştırılmasını amaçlayan pekiştirmeli öğrenme tabanlı bir kontrol yaklaşımı sunmaktadır. Klasik ters kinematik ve PID tabanlı yöntemlerin enerji tüketimini örtük biçimde ya da hiç modellememesinden yola çıkılarak, ödül fonksiyonuna hedefe olan Öklid mesafesine dayalı bir ceza teriminin yanı sıra eylem büyüklüğünün karesine dayalı bir enerji cezası eklenmiştir. Ortam, Gymnasium kütüphanesi kullanılarak özel bir sınıf (BasitRobotKoluV2) biçiminde tasarlanmış; sürekli eylem uzayında kararlı yakınsama sağlaması nedeniyle kontrolcü olarak Proximal Policy Optimization (PPO) algoritması tercih edilmiştir. Model, Stable-Baselines3 kütüphanesinin varsayılan MLP politika ağı ile oluşturulmuş, eğitim öğrenme oranının kademeli olarak düşürüldüğü iki aşamada gerçekleştirilmiş ve ajan toplam 250.000 zaman adımı boyunca çevreyle etkileşime girmiştir. Öğrenme başarısı; ortalama bölüm ödülü, hedefe ulaşma başarı oranı, ortalama kümülatif enerji tüketimi, ortalama hedefe ulaşma adım sayısı ve mesafe hassasiyeti gibi metriklerle çok yönlü biçimde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, geliştirilen V2 modelinin 200 zaman adımı içerisinde adım başına ortalama 0,0193 birimlik enerji tüketimiyle hedefe yaklaştığını ve 0,0702 birimlik bir nihai mesafe hassasiyeti yakaladığını göstermektedir. Ajanın hedefe yaklaşırken izlediği yörüngelerin, ani açısal sıçramalar yerine yumuşak ve sönümlü kavisler biçiminde şekillenmesi, karesel enerji cezasının sert düzeltme hareketlerini başarıyla baskıladığını ve hedef bölgede aşırı aşma yapılmadan kararlı biçimde duraksandığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, önerilen ödül tasarımının konum doğruluğu ile hareket ekonomisi

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

arasında etkili bir denge kurduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalarda, mesafe ve enerji ağırlık katsayılarının adaptif biçimde (curriculum learning) güncellenerek nihai konum hatasının daha da azaltılması planlanmaktadır. Bu çalışmada sunulan projeye https://github.com/harunresit44/robotic_arm_final GitHub linkinden erişilebilir.

Anahtar Kelimeler: Robot kol hareketi, Pekiştirmeli Öğrenme, PPO, Gymnasium

ROBOT ARM MOTION CONTROL WITH AN ENERGY-AWARE REWARD FUNCTION: A REINFORCEMENT LEARNING APPROACH

Harun Reşid Karaca
Malatya Turgut Özal Üniversitesi
harunrstkaraca@gmail.com – 0009-0007-1349-0888

Dr. Öğr. Üyesi Ali Fatih Gündüz
Malatya Turgut Özal Üniversitesi
fatih.gunduz@ozal.edu.tr - 0000-0002-3838-6813

ABSTRACT

This study presents a reinforcement-learning-based control approach for guiding a two-degree-of-freedom planar robotic arm toward a target position both accurately and in an energy-economical manner. Motivated by the fact that classical inverse-kinematics- and PID-based methods model energy consumption only implicitly or not at all, an energy penalty based on the squared magnitude of the applied action was added to the reward function alongside a distance penalty based on the Euclidean distance to the target. The environment was designed as a custom class (BasitRobotKoluV2) using the Gymnasium library; the Proximal Policy Optimization (PPO) algorithm was chosen as the controller due to its stable convergence in continuous action spaces. The model was built using Stable-Baselines3's default MLP policy network, training was carried out in two stages with a gradually reduced learning rate, and the agent interacted with the environment for a total of 250,000 timesteps. Learning performance was evaluated using multiple metrics, including mean episode reward, target-reaching success

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

rate, mean cumulative energy consumption, mean number of steps to reach the target, and distance accuracy. The results show that the developed V2 model approached the target with an average energy consumption of 0.0193 units per step within 200 timesteps, achieving a final distance accuracy of 0.0702 units. The trajectories the agent followed while approaching the target formed smooth, damped curves rather than sudden angular jumps, demonstrating that the quadratic energy penalty successfully suppressed abrupt corrective movements and allowed the agent to settle stably in the target region without overshoot. In conclusion, the proposed reward design was found to establish an effective balance between positional accuracy and motion economy. Future work aims to further reduce the final position error by adaptively updating the distance and energy weighting coefficients (curriculum learning), and to extend the proposed approach to three-dimensional, multi-degree-of-freedom industrial manipulators.

Keywords: Robot arm movement, Reinforcement Learning, PPO, Gymnasium

1. GİRİŞ

Endüstriyel otomasyon sistemlerinin gelişmesiyle birlikte robot manipülatörler; montaj, kaynak, paketleme, kalite kontrol, sağlık hizmetleri ve lojistik gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu robotların temel görevlerinden biri, uç efektörün (end-effector) istenilen konuma doğru, güvenilir ve hassas bir şekilde hareket ettirilmesidir. Robot kolunun hedef konuma ulaştırılması sürecinde yalnızca konum doğruluğunun sağlanması yeterli olmayıp, aynı zamanda enerji tüketiminin azaltılması, hareket süresinin kısaltılması, mekanik zorlanmaların en aza indirilmesi ve sistem kararlılığının korunması da önemli performans ölçütleri arasında yer almaktadır [1, 2]. Bu amaçla robot kollarının hareket kontrolü, enerji verimliliği ve hareketin sarsıntılardan uzak tutulmasını gözeten bir optimizasyon problemi olarak ele alınmalıdır.

Robot manipülatörlerinin hareket kontrolünde kullanılan klasik yöntemler büyük ölçüde ters kinematik (Inverse Kinematics - IK) çözümlerine dayanmaktadır. Analitik ters kinematik yöntemleri hesaplama açısından hızlı ve doğru sonuçlar üretebilmesine rağmen yalnızca belirli robot geometrileri için uygulanabilmektedir. Klasik kontrol yaklaşımları (ör. ters kinematik tabanlı yörünge planlama, PID kontrolcüler) genellikle konum hatasını en aza indirmeyi hedeflerken, enerji tüketimini örtük biçimde ya da hiç modellemez. Daha karmaşık manipülatörlerde ise sayısal optimizasyon teknikleri kullanılmakta, ancak bu yöntemler başlangıç koşullarına duyarlılık, yerel minimumlara takılma ve yüksek hesaplama maliyeti gibi dezavantajlar taşımaktadır [3, 4]. Ayrıca geleneksel ters kinematik çözümleri çoğunlukla yalnızca geometrik uygunluğu hedeflemekte, enerji tüketimi gibi dinamik performans kriterlerini doğrudan optimize etmemektedir.

Son yıllarda makine öğrenmesindeki gelişmeler, robot kontrol problemlerinde veri odaklı yaklaşımların kullanımını önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle pekiştirmeli öğrenme

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

(Reinforcement Learning - RL), bir ajanın çevre ile etkileşime girerek deneme-yanılma yoluyla en uygun davranış politikasını öğrenmesini sağlayan güçlü bir yöntem olarak öne çıkmaktadır [5,6]. RL tabanlı yöntemlerde kontrol politikası, önceden tanımlanmış matematiksel bir model yerine ödül fonksiyonu aracılığıyla optimize edilmekte ve bu sayede karmaşık doğrusal olmayan sistemlerde başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir [7]. Son yıllarda Deep Q-Network (DQN), Proximal Policy Optimization (PPO), Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) ve Soft Actor-Critic (SAC) gibi derin pekiştirmeli öğrenme algoritmaları robot manipülasyonu, kavrama, hareket planlama ve otonom kontrol problemlerinde başarılı şekilde uygulanmıştır [8,9].

Bu çalışmada, iki serbestlik dereceli düzlemsel bir robot kolunun belirli bir hedef konuma en az enerji tüketimiyle ulaşmasını sağlamak amacıyla pekiştirmeli öğrenme tabanlı bir kontrol politikası geliştirilmiştir. Ortam tasarımı Gymnasium kütüphanesi ile gerçekleştirilmiş, kontrolcü olarak sürekli aksiyon uzaylarında kararlı yakınsama sağladığı bilinen Proximal Policy Optimization (PPO) algoritması tercih edilmiştir. Önerilen yaklaşımın temel katkısı, ödül fonksiyonuna eklenen negatif enerji cezası terimi aracılığıyla ajanın hem konum hassasiyetini hem de hareket ekonomisini aynı anda optimize etmesini sağlamaktır.

2. YÖNTEM

Bu bölümde geliştirilen sistemin ortam tasarımı, ödül fonksiyonu, öğrenme algoritması ve eğitim yapılandırması ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2.1. Ortam Tasarımı

Robot kolu ortamı, Gymnasium kütüphanesinin gym.Env temel sınıfından türetilen BasitRobotKoluV2 adlı özel bir sınıf olarak modüler biçimde (env, utils ve eğitim betikleri ayrı dosyalarda olacak şekilde) uygulanmıştır. Modellenen sistem, iki dönel eklemden oluşan düzlemsel (2 boyutlu) bir robot koludur.

Eylem uzayı, her iki eklemin açısına uygulanan sürekli ve sınırlı açısal artımlar olarak tanımlanmıştır: her bir eylem bileşeni [-0.1, 0.1] radyan aralığında bir Box uzayından örneklenir. Bu tasarım tercihi, ajanın büyük ve sert açısal sıçramalar yerine küçük, kademeli hareketler üretmeye yönlendirilmesini sağlayarak enerji ve sarsıntı kontrolüne dolaylı bir zemin hazırlamaktadır.

Gözlem uzayı altı boyutludur ve şu bileşenlerden oluşur: (i) güncel eklem açıları (2 boyut), (ii) hedef konumun kartezyen koordinatları (2 boyut) ve (iii) uç işlevcinin (end-effector) güncel kartezyen konumu (2 boyut). Uç işlevci konumu, birim kol uzunlukları varsayımı altında aşağıdaki ileri kinematik (forward kinematics) denklemleriyle hesaplanmaktadır:

$$x = cos(\theta_1) + cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$y = sin(\theta_1) + sin(\theta_1 + \theta_2)$$

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

burada θ_1 ve θ_2 sırasıyla birinci ve ikinci eklemin açısal konumlarını ifade eder. Her bölümün (episode) başında eklem açıları [-0.5, 0.5] radyan aralığında, hedef konum ise [-1.2, 1.2] aralığında uniform dağılımdan rastgele örneklenerek ortamın farklı başlangıç koşulları ve hedef konfigürasyonları için genelleme yapması amaçlanmıştır. Bir bölüm, uç işlevci hedefe belirlenen tolerans içinde ulaştığında veya 200 adımlık üst sınıra ulaşıldığında sona ermektedir.

2.2. Ödül Fonksiyonu Tasarımı

Ödül fonksiyonu, ajanın yalnızca hedefe yaklaşmasını değil, bunu ekonomik bir hareketle gerçekleştirmesini teşvik edecek şekilde iki bileşenden oluşacak biçimde tasarlanmıştır: (i) hedefe olan Öklid mesafesine dayalı bir mesafe cezası ve (ii) uygulanan eylemin büyüklüğüne dayalı bir enerji cezası. Adım başına ödül aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$r\_t = -2.0 \cdot d(p\_ee, p\_hedef) - 0.01 \cdot \|a\_t\|^2$$

Burada d(p_ee, p_hedef) uç işlevci konumu ile hedef konum arasındaki Öklid mesafesini, a_t ise t anındaki eylem vektörünü (eklem açısı artımlarını) ifade etmektedir. İkinci terim, karesel bir enerji cezası olarak yorumlanabilir; büyük açısal artımlar (sert/ani hareketler) daha yüksek bir ceza almakta, bu da ajanı görevi tamamlarken mümkün olduğunca küçük ve düzgün hareketler üretmeye yönlendirmektedir. Uç işlevci hedefe 0.05 birimden daha yakın bir mesafeye ulaştığında bölüm başarıyla sonlanmakta (terminated = True) ve ödüle sabit bir tamamlama bonusu (+50) eklenmektedir. Bu bonus, ajanın yalnızca yerel enerji tasarrufuna odaklanıp hedefe hiç ulaşmama gibi hatalı bir stratejiye yönelmesini engellemek amacıyla eklenmiştir.

Çizelge 3. Ortam ve ödül fonksiyonuna ilişkin temel parametreler

Parametre	**Sembol / Değer**	**Açıklama**
Eylem uzayı	Box(-0.1, 0.1), R^2	Her eklem açısına uygulanan artımsal açısal değişim
Gözlem uzayı	Box(-∞, ∞), R^6	Eklem açıları (2), hedef konum (2), uç işlevci konumu (2)
Mesafe ağırlığı	2.0	Hedefe olan Öklid mesafesinin ceza katsayısı
Enerji ağırlığı	0.01	Eylem vektörünün karesi toplamının ceza katsayısı

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Başarı eşiği	0.05	Bölümün başarıyla sonlanması için gereken maksimum mesafe
Başarı bonusu	+50	Hedefe ulaşıldığında ödüle eklenen sabit değer
Maksimum adım sayısı	200	Bölümün kesilmesi (truncation) için adım sınırı

2.3. PPO Algoritması ve Eğitim Yapılandırması

Kontrolcü olarak, sürekli eylem uzaylarında kararlı ve örneklem verimliliği görece yüksek bir politika gradyanı yöntemi olan Proximal Policy Optimization (PPO) algoritması tercih edilmiştir. PPO, güncelleme adımlarını kırpılmış (clipped) bir vekil hedef fonksiyonu ile sınırlandırarak politika güncellemelerinin çok büyük adımlarla yapılmasını engeller; bu da eğitim sürecinin kararlılığını artırır ve robotik kontrol gibi sürekli eylem uzayına sahip problemlerde yaygın olarak tercih edilmesini sağlar.

PPO, politika gradyanı tabanlı bir yöntem olup, güncelleme adımlarını sınırlandıran (clipped objective) kayıp fonksiyonu sayesinde öğrenme sürecinde kararlılığı artırmakta ve aşırı politika güncellemelerini önlemektedir. Model, Stable-Baselines3 kütüphanesinde sunulan varsayılan MLP (Multi-Layer Perceptron) politika ağı ile oluşturulmuştur. Politika ağı olarak kullanılan MlpPolicy, gözlem uzayından elde edilen durum bilgilerini işlemek amacıyla tam bağlantılı (fully connected) bir sinir ağı mimarisi kullanmaktadır. Stable-Baselines3 kütüphanesinin varsayılan PPO yapılandırmasında politika ve değer ağları, ortak özellik çıkarım katmanından sonra birbirinden ayrılmakta ve her biri iki gizli katmandan oluşmaktadır. Her gizli katmanda 64 nöron bulunmakta ve aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU (Rectified Linear Unit) kullanılmaktadır. Bu mimari, hesaplama maliyetini düşük tutarken robot kontrolü gibi sürekli durum uzayına sahip problemlerde yeterli temsil gücü sağlamaktadır.

Modelin ilk eğitim aşamasında öğrenme oranı (learning rate) 0.0005 olarak belirlenmiştir. Görece yüksek seçilen bu değer, ajanın çevreyi daha hızlı keşfetmesini ve ilk politika güncellemelerini etkin biçimde gerçekleştirmesini amaçlamaktadır. İlk eğitim tamamlandıktan sonra öğrenme oranı 0.0001 değerine düşürülmüş ve eğitim kaldığı yerden devam ettirilmiştir. Bu yaklaşım, derin öğrenmede yaygın olarak kullanılan öğrenme oranı azaltma (learning rate decay/fine-tuning) stratejisidir. Başlangıçta hızlı öğrenme sağlanırken, sonraki aşamada daha küçük güncelleme adımları kullanılarak öğrenilen politikanın daha kararlı hale gelmesi ve optimum çözüme yakınsaması hedeflenmiştir.

Toplam eğitim süresi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada 150.000 zaman adımı (timestep) boyunca eğitim yapılmış, ardından aynı model üzerinde 100.000 zaman adımı daha ek eğitim uygulanmıştır. Böylece ajan toplam 250.000 zaman adımı boyunca çevre ile etkileşime girerek politika parametrelerini güncellemiştir. İkinci eğitim aşamasında `reset_num_timesteps=False` parametresi kullanılarak eğitim sürecinin sıfırlanması engellenmiş ve öğrenilen politika korunarak ince ayar (fine-tuning) yapılmıştır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Stable-Baselines3 kütüphanesinin PPO algoritması için varsayılan (n_steps = 2048) ve 64 örnekten oluşan mini-batch'ler (batch_size = 64) değerleri kullanılmıştır. Model bu şekilde işlenerek çoklu epoch boyunca ağ ağırlıkları güncellenmektedir. Bu yapı, örnek verimliliğini artırırken politika güncellemelerinin daha kararlı gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Çalışmada ayrıca PPO algoritmasının keşif davranışını desteklemek amacıyla entropi katsayısı (entropy coefficient) 0.01 olarak belirlenmiştir. Entropi terimi, politikanın erken eğitim aşamalarında tek bir eyleme aşırı yönelmesini engelleyerek daha geniş bir eylem uzayının keşfedilmesini sağlamaktadır. Böylece ajanın yerel optimum çözümlere erken yakınsama olasılığı azaltılmış ve daha başarılı kontrol politikalarının öğrenilmesi amaçlanmıştır.

2.4. Değerlendirme Metrikleri

Geliştirilen pekiştirmeli öğrenme tabanlı kontrol politikasının etkinliği, öğrenme başarısını, hedefe ulaşma performansını ve enerji verimliliğini birlikte değerlendirebilecek çeşitli performans metrikleri kullanılarak analiz edilmiştir. İlk olarak, eğitim sürecindeki yakınsama davranışını incelemek amacıyla Ortalama Bölüm Ödülü (Mean Episode Reward) dikkate alınmıştır. Bu metrik, ajanın her bölüm sonunda elde ettiği toplam ödüllerin ortalamasını ifade etmekte olup, öğrenme sürecinin kararlılığı ve geliştirilen politikanın zaman içerisindeki performans eğilimi hakkında bilgi sağlamaktadır. Ortalama bölüm ödülündeki artış ve belirli bir değerde kararlı hâle gelmesi, politikanın başarılı bir şekilde öğrenildiğinin önemli göstergelerinden biridir.

Politikanın hedefe ulaşmadaki başarısını değerlendirmek amacıyla Hedefe Ulaşma Başarı Oranı (Success Rate) hesaplanmıştır. Bu metrik, toplam bölümler içerisinde hedef konuma başarıyla ulaşarak terminated durumu ile sonlanan bölümlerin yüzdesini ifade etmektedir. Başarı oranının yüksek olması, öğrenilen politikanın farklı başlangıç durumlarında güvenilir ve tutarlı bir şekilde hedefe ulaşabildiğini göstermektedir.

Enerji verimliliğini ölçmek amacıyla Ortalama Kümülatif Enerji Tüketimi kullanılmıştır. Bu metrik, her bölüm boyunca uygulanan tüm eylemlerin karesel normlarının toplamı olan $\Sigma\|a\_t\|^2$ hesaplanarak elde edilmekte ve bölümler üzerindeki ortalaması alınmaktadır. Eylem büyüklüklerinin karesel toplamı, robot eklemlerinde harcanan kontrol çabasının bir göstergesi olarak değerlendirilmiş; daha düşük değerler, hedefe daha ekonomik ve enerji açısından verimli hareketlerle ulaşıldığını göstermektedir.

Politikanın operasyonel verimliliğini değerlendirmek amacıyla Ortalama Hedefe Ulaşma Adım Sayısı da analiz edilmiştir. Bu metrik, başarılı bölümlerde robot kolunun hedef konuma ulaşıncaya kadar gerçekleştirdiği zaman adımlarının ortalamasını ifade etmektedir. Daha düşük adım sayısı, ajanın daha kısa sürede ve daha etkin hareket stratejileri geliştirerek hedefe ulaştığını göstermekte, dolayısıyla zaman açısından daha verimli bir kontrol politikası ortaya koymaktadır.

Son olarak, robot kolunun konumsal doğruluğunu belirlemek amacıyla Mesafe Hassasiyeti (Distance Accuracy) değerlendirilmiştir. Bu metrik, bölüm sonlandığında robot kolunun uç efektörünün hedef konuma olan Öklit uzaklığını ifade etmektedir. Nihai konum hatasının düşük

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

olması, geliştirilen politikanın yalnızca hedefe ulaşmayı değil, aynı zamanda hedef konumu yüksek doğrulukla takip edebildiğini göstermektedir. Bu değerlendirme ölçütü özellikle hassas konumlandırma gerektiren robotik uygulamalar açısından önemli bir performans göstergesi olarak kabul edilmektedir.

Bu metrikler birlikte değerlendirildiğinde, önerilen kontrol politikası yalnızca hedefe ulaşma başarısı açısından değil, aynı zamanda öğrenme kararlılığı, enerji tüketimi, hareket verimliliği ve konumsal hassasiyet bakımından kapsamlı bir şekilde analiz edilebilmektedir.

3. BULGULAR

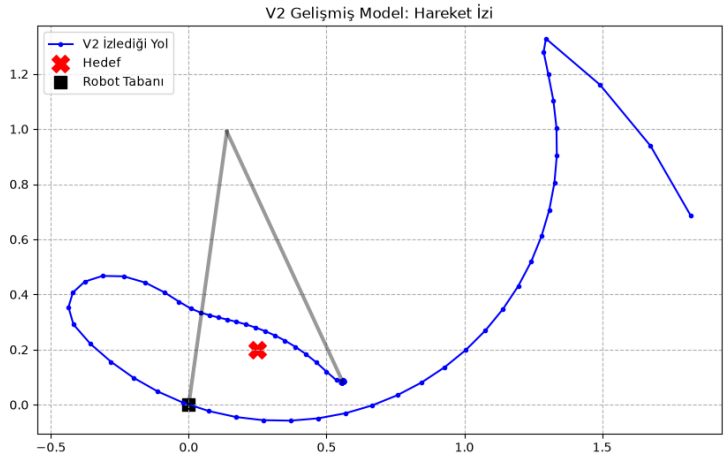
Bu bölümde, eğitilmiş modelin performansına ilişkin nicel bulgular sunulmaktadır.

Çizelge 4. V2 model performans sonuçları

Metrik	**Değer**
Toplam Enerji Tüketimi	3.8643
Ortalama Adım Başı Enerji	0.0193
Final Mesafe Hatası	0.0702
Toplam Adım Sayısı	200

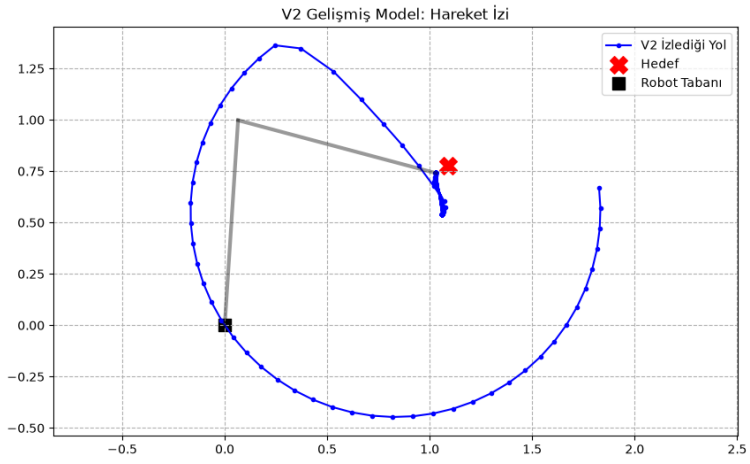
Çizelge 2’de verilen test sonuçları incelendiğinde , 200 adımlık test bölümü boyunca kümülatif enerji tüketiminin 3.8643, adım başına düşen ortalama enerji tüketiminin ise 0.0193 seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Final mesafe hatası 0.0702 birim olarak kaydedilmiştir. Adım sayısının maksimum sınıra (200) ulaşması ve nihai konum hatasının başarı eşiğine (0.05) çok yakın bir değerde kalması , karesel enerji cezasının ajanın aşırı sert düzeltme hareketleri yapmasını baskıladığını göstermektedir. Ajan, yüksek ivmeli son hamleler yapmak yerine enerji tasarrufunu ve sarsıntısız kalmayı önceliklendiren dengeli bir politika benimsemiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 18. Robot kol hareketi simülasyonu-1

Görsel 1'de, eğitilmiş V2 modelinin birinci hedef konum (kırmızı X işareti) için robot kol uç işlevcisinin izlediği hareket izi (yörünge) görselleştirilmiştir. Grafik incelendiğinde, uç işlevcinin başlangıç noktasından hedefe doğru ilerlerken doğrudan lineer (doğrusal) bir hat izlemek yerine yumuşak ve sönümlü bir kavis çizdiği tespit edilmiştir. Klasik ters kinematik çözümlerinde sıklıkla karşılaşılan ani açısal değişimler ve yüksek ivmeli motor tepkilerinin aksine, ödül fonksiyonundaki karesel eylem cezası ($-0.01 \cdot \|a_t\|^2$) ajanın eylem genliklerini küçük tutmasını zorlamaktadır. Bu durum, ajanın enerjiyi zamana yayarak sarsıntısız ve mekanik aşınmayı en aza indiren bir yay çizmesini sağlamıştır.



Görsel 19. Robot kol hareketi simülasyonu-2

Görsel 2'de ise modelin farklı bir hedef koordinatı için ürettiği yörünge ve hedef bölgesindeki davranış dinamikleri sergilenmektedir. İkinci senaryoya ait grafik incelendiğinde, ajanın farklı bir başlangıç yönelimi ile hedefe yöneldiği ve yaklaşma aşamasında hızını kademeli olarak

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

düşürdüğü görülmektedir. Uç işlevcinin hedef nokta çevresinde aşırı aşma (overshoot) yapmadan ve kontrolsüz salınımlardan (oscillation) kaçınarak son derece kararlı bir biçimde duraksadığı net bir şekilde gözlemlenmektedir. Ödül fonksiyonundaki mesafe ile enerji cezası arasındaki optimizasyon dengesi, robot kolun hedef bölgede sarsıntısız biçimde sabitlenmesini ve sistem kararlılığının korunmasını sağlamıştır.

4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, iki serbestlik dereceli düzlemsel bir robot kolunun hedefe ulaşma sürecinde hem konum doğruluğunu hem de hareket ekonomisini optimize eden pekiştirmeli öğrenme tabanlı bir kontrol yöntemi sunulmuştur. Modern Gymnasium altyapısıyla geliştirilen ortamda PPO algoritması kullanılmış; ödül fonksiyonuna eklenen negatif karesel enerji cezası ile ajanın sarsıntısız ve düşük güç tüketimli bir politika öğrenmesi sağlanmıştır.

Elde edilen bulgular, geliştirilen V2 modelinin 200 zaman adımı içerisinde adım başına ortalama 0.0193 enerji tüketimi ile hedef konum yakınlarına ulaştığını ve 0.0702 birimlik bir nihai mesafe hassasiyeti yakaladığını göstermektedir. Ajanın hedefe yaklaşırken çizdiği yumuşak yörünge eğrileri, konum hassasiyeti ile enerji tasarrufu arasındaki optimizasyon dengesinin başarıyla kurulduğunu kanıtlamaktadır. Gelecek çalışmalarda, mesafe ve enerji ağırlık katsayılarının dinamik/adaptif (curriculum learning) olarak güncellenmesiyle nihai konum hatasının daha da düşürülmesi ve önerilen yaklaşımın 3 boyutlu ve çok serbestlik dereceli endüstriyel manipülatörlere uygulanması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

1. B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani and G. Oriolo, Robotics: Modelling, Planning and Control. Springer, 2010.

2. M. W. Spong, S. Hutchinson and M. Vidyasagar, Robot Modeling and Control. John Wiley & Sons, 2006.

3. J. J. Craig, Introduction to Robotics: Mechanics and Control, 4th ed. Pearson, 2018.

4. R. M. Murray, Z. Li and S. S. Sastry, A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation. CRC Press, 1994.

5. R. S. Sutton and A. G. Barto, Reinforcement Learning: An Introduction, 2nd ed. MIT Press, 2018.

6. L. Busoniu, R. Babuska, B. De Schutter and D. Ernst, Reinforcement Learning and Dynamic Programming Using Function Approximators. CRC Press, 2010.

7. V. Mnih et al., "Human-level control through deep reinforcement learning," Nature, vol. 518, no. 7540, pp. 529–533, 2015.

8. J. Kober, J. A. Bagnell and J. Peters, "Reinforcement Learning in Robotics: A Survey," International Journal of Robotics Research, vol. 32, no. 11, pp. 1238–1274, 2013.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

MEMBERSHIP THRESHOLDS AND INTERVAL UNCERTAINTY FOR NEUTROSOPHIC HARMONIC POISSON SERIES

Sibel YALÇIN
Department of Mathematics, Bursa Uludağ University, Türkiye
syalcin@uludag.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0243-8263

Hasan BAYRAM
Department of Mathematics, Bursa Uludağ University, Türkiye
hbayram@uludag.edu.tr | ORCID: 0000-0001-8106-6834

ABSTRACT

We investigate membership of a symmetric harmonic Poisson series in a coefficient defined class with Sălăgean weights. A neutrosophic mean is represented by a compact interval of positive real means, and all calculations use the classical Poisson law at each representative. Poisson factorial moments and Stirling numbers of the second kind reduce the infinite coefficient sums to polynomial expressions. Explicit criteria are obtained for the first five operator orders, and a unique admissible mean threshold is established for every non-negative integer order. The thresholds decrease strictly with the interpolation parameter, the starlikeness order, and the operator order. An exact Jacobian calculation gives the sense-preservation threshold of the test mapping as approximately 0.266249. Uniform membership over the representative interval holds precisely when its upper endpoint does not exceed the corresponding class threshold. We also prove that Poisson coefficient multipliers preserve the class for every positive mean and obtain an explicit error bound for partial sums. Reproducible threshold calculations and graphical examples illustrate these results. The analysis distinguishes membership in the weighted class from sense-preservation and from the behaviour of one-term Poisson mappings.

Keywords: Harmonic Poisson series; neutrosophic mean; interval uncertainty; Stirling numbers; membership threshold.

1. INTRODUCTION

Using Poisson probabilities as power-series coefficients establishes a computable relationship between a distribution parameter and the geometry of analytic and harmonic functions. Porwal [1] studied this connection for analytic series, and subsequent contributions considered membership of distribution series in various subclasses [2, 3]. Analytic and harmonic extensions involving neutrosophic Poisson series have also been developed [4–7].

This paper studies membership of a symmetric harmonic Poisson test mapping, with negative analytic and positive co-analytic coefficients, in a weighted coefficient class. Shifted Poisson moments reduce the infinite coefficient sums to polynomials. We prove that every operator order admits a unique threshold for the admissible mean and that this threshold decreases with the weight parameter, starlikeness order, and operator order. We also determine the exact sense-preserving range of the test mapping.

The neutrosophic mean is represented here by a closed interval of positive real representatives. Calculations use a classical Poisson distribution for each representative, rather than direct

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

arithmetic with indeterminate quantities. Membership throughout the interval consequently reduces to a single inequality at its upper endpoint. This interpretation makes the mathematical scope of the neutrosophic terminology explicit [8, 9].

2. THE HARMONIC CLASS AND POISSON MODEL

2.1. The coefficient class

In the unit disk $\mathbb{U} = \{z \in \mathbb{C}: |z| < 1\}$, consider normalized harmonic mappings of the form

$$f(z) = z - \sum_{n\geq 2} a_n z^n + \overline{\sum_{n\geq 2} b_n z^n}, \qquad a_n, b_n \geq 0. \tag{1}$$

For $k \in \mathbb{N}_0$, $0 \leq \tau \leq 1$, and $0 \leq \gamma < 1$, set

$$\begin{aligned} W_n^+ &= n^k(n-\gamma)[1+\tau(n-1)], \\ W_n^- &= n^k(n+\gamma)[1+\tau(n-1)] \end{aligned} \tag{2}$$

and define the class by

$$f \in \mathcal{T}_H^{k,0}(\tau,\gamma) \quad \Leftrightarrow \quad \sum_{n\geq 2}(W_n^+ a_n + W_n^- b_n) \leq 1-\gamma. \tag{3}$$

The factor n^k arises from the Sălăgean operator [10]. The parameter τ interpolates coefficient weights; it is neither a rotation angle nor a subordination function.

Since $W_n^+ \geq n-\gamma$ and $W_n^- \geq n+\gamma$, condition (3) implies Jahangiri's sufficient coefficient condition for starlikeness [11]. Every class member is therefore sense-preserving, univalent, and starlike of order γ [11, 12]. The class is defined by its coefficient inequality; no characterization of all harmonic mappings with the corresponding geometry is asserted. In particular, the weights at $k = 0, \tau = 1$ provide a sufficient convexity criterion, without identifying the class with the entire convex family.

2.2. Real representatives and the test mapping

Write the neutrosophic mean as $m_N = d + I$, with $I \in [I_L, I_U]$. Its representative set is

$$\mathcal{M}_N = [m_L, m_U] = [d + I_L, d + I_U] \subset (0, \infty). \tag{4}$$

For each $m \in \mathcal{M}_N$, use the classical distribution $X \sim$ Poisson (m) and the coefficients

$$\psi_n(m) = e^{-m}\frac{m^{n-1}}{(n-1)!}, \qquad n \geq 1. \tag{5}$$

Thus $\psi_n \geq 0$, $\sum_{n\geq 1}\psi_n = 1$, and $\psi_n \leq 1$ hold separately for every representative. The interval does not define a mixing measure over distributions, and no additional probability law is assumed.

Define the symmetric harmonic test mapping by

$$\Psi(m,z) = z - \sum_{n\geq 2}\psi_n(m) z^n + \overline{\sum_{n\geq 2}\psi_n(m) z^n}. \tag{6}$$

The identical coefficients in the two parts imply $\mathrm{Re}\,\Psi(m,z) = \mathrm{Re}\,z$: the mapping deforms the identity in the vertical direction. The series in (6) defines a harmonic mapping for every positive mean. Class membership is governed by the thresholds established below; its exact sense-preserving range is calculated separately.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3. POISSON MOMENTS AND MEMBERSHIP CRITERIA

3.1. Shifted moment polynomials

Let $S(j,r)$ denote the Stirling numbers of the second kind and let $T_j(m) = \sum_{r=0}^{j} S(j,r)\, m^r$ be the Touchard polynomials [13, 14]. The Poisson factorial moments satisfy $E[X(X-1)\cdots(X-r+1)] = m^r$. Because of the index shift, the required moments are

$$M_j(m) = \sum_{n\geq 1} n^j \psi_n(m) = E[(X+1)^j] = \sum_{i=0}^{j} \binom{j}{i} T_i(m). \tag{7}$$

Each M_j is a polynomial with nonnegative coefficients and $M_j(0) = 1$. The first values are

$$M_0 = 1, \qquad M_1 = m+1, \qquad M_2 = m^2 + 3m + 1, \tag{8}$$

$$\begin{gathered} M_3 = m^3 + 6m^2 + 7m + 1, \\ M_4 = m^4 + 10m^3 + 25m^2 + 15m + 1, \end{gathered} \tag{9}$$

$$M_5 = m^5 + 15m^4 + 65m^3 + 90m^2 + 31m + 1, \tag{10}$$

$$M_6 = m^6 + 21m^5 + 140m^4 + 350m^3 + 301m^2 + 63m + 1. \tag{11}$$

Lemma 1. For every $k \in \mathbb{N}_0$,

$$M_{k+2} - M_{k+1} = \sum_{i=1}^{k+2} \binom{k+1}{i-1} T_i(m) \tag{12}$$

is a nonconstant polynomial with nonnegative coefficients and zero constant term. Moreover, $\sum_{n\geq 2} n^j \psi_n = M_j - e^{-m}$.

Proof. The second assertion follows directly from $\psi_1 = e^{-m}$. For the first, substitute (7) and apply Pascal's identity to consecutive binomial coefficients. The resulting sum contains T_{k+2} and is therefore nonconstant. Consequently, M_j for $j \geq 1$ and every difference polynomial in (12) are strictly increasing on the positive real axis. This argument applies to all orders, beyond the six moments explicitly listed above.

3.2. The master membership theorem

Theorem 1. For $m > 0$, membership $\Psi(m,\cdot) \in \mathcal{T}_H^{k,0}(\tau,\gamma)$ is equivalent to

$$\begin{aligned} \Phi_k(m) &:= 2M_{k+1}(m) + 2\tau[M_{k+2}(m) - M_{k+1}(m)] \\ &\leq 1 - \gamma + 2e^{-m}. \end{aligned} \tag{13}$$

Proof. Since $a_n = b_n = \psi_n$ for the test mapping, membership means $\sum(W_n^+ + W_n^-)\psi_n \leq 1-\gamma$. The terms involving γ cancel in the sum of the two weights, giving

$$W_n^+ + W_n^- = 2n^{k+1} + 2\tau n^{k+1}(n-1). \tag{14}$$

Lemma 1 reduces the coefficient sum to $2(M_{k+1} - e^{-m}) + 2\tau(M_{k+2} - M_{k+1})$. Rearranging yields (13). Necessity and sufficiency refer to membership in the specified coefficient class.

Put $L = 2\tau \in [0,2]$. For $k = 0,1,2,3,4$, the left sides of (13) are respectively the following polynomials; the right side remains $1 - \gamma + 2e^{-m}$ in every case:

$$P_0(m) = Lm^2 + (2+2L)m + 2, \tag{15}$$

$$P_1(m) = Lm^3 + (2+5L)m^2 + (6+4L)m + 2, \tag{16}$$

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

$$P_2(m) = Lm^4 + (2+9L)m^3 + (12+19L)m^2 + (14+8L)m + 2, \tag{17}$$

$$P_3(m) = Lm^5 + (2+14L)m^4 + (20+55L)m^3 + (50+65L)m^2 + (30+16L)m + 2, \tag{18}$$

$$P_4(m) = Lm^6 + (2+20L)m^5 + (30+125L)m^4 + (130+285L)m^3 + (180+211L)m^2 + (62+32L)m + 2. \tag{19}$$

These expressions follow by substituting (8)–(11) into the master criterion. The symmetric coefficient choice leaves γ only on the right side. This cancellation does not generally persist for asymmetric Poisson coefficients.

4. THRESHOLDS AND SENSE-PRESERVING BEHAVIOR

4.1. Uniqueness and parameter monotonicity

Theorem 2. Let $\Delta_k(m) = \Phi_k(m) - (1 - \gamma + 2e^{-m})$. For every admissible parameter triple, there is a unique $m_k^*(\tau,\gamma) > 0$ such that

$$\Delta_k(m_k^*) = 0, \qquad \Psi(m,\cdot) \in \mathcal{T}_H^{k,0}(\tau,\gamma) \Leftrightarrow 0 < m \le m_k^*. \tag{20}$$

Proof. By Lemma 1, Φ_k is strictly increasing, whereas the exponential expression on the right of (13) is strictly decreasing. Hence Δ_k is continuous and strictly increasing. Since $\Delta_k(0^+) = \gamma - 1 < 0$ and $\Delta_k(m) \to \infty$, the intermediate value theorem gives exactly one zero. Its sign change proves (20).

Theorem 3. For fixed k, the threshold is strictly decreasing in both τ and γ. For fixed τ,γ, one has $m_{k+1}^* < m_k^*$. With $L = 2\tau$, the derivatives evaluated at $m = m_k^*$ are

$$\frac{\partial m_k^*}{\partial L} = -\frac{M_{k+2} - M_{k+1}}{\Delta_k'(m)} < 0, \qquad \frac{\partial m_k^*}{\partial \gamma} = -\frac{1}{\Delta_k'(m)} < 0. \tag{21}$$

Proof. Since $\Delta_k'(m) > 0$, the implicit function theorem yields (21). To compare operator orders, put $Y = X + 1$. Then $M_{k+2} - M_{k+1} = E[Y^{k+1}(Y-1)] > 0$. Writing $D_k = M_{k+2} - M_{k+1}$ also gives $D_{k+1} - D_k = E[Y^{k+1}(Y-1)^2] > 0$. Thus $\Delta_{k+1}(m) > \Delta_k(m)$ for every positive m, and the zeros of these increasing functions have the asserted order.

A structural identity also holds at the endpoint parameters:

$$m_k^*(1,\gamma) = m_{k+1}^*(0,\gamma). \tag{22}$$

Indeed, at $\tau = 1$, the moment expression in the master criterion is $2M_{k+2}$, exactly the expression for $\tau = 0$ at the next operator order.

4.2. The exact Jacobian bound

Theorem 4. For the mapping (6),

$$J_\Psi(z) = 1 - 2\mathrm{Re}\, S(z), \qquad S(z) = \textstyle\sum_{n\ge 2} n\,\psi_n(m) z^{n-1}, \tag{23}$$

$$\inf_{z\in\mathbb{U}} J_\Psi(z) = 2e^{-m} - 2m - 1. \tag{24}$$

Consequently, the mapping is sense-preserving throughout the open unit disk exactly when $2m + 1 \le 2e^{-m}$. Equivalently, $m \le m_0^*(0,0) \approx 0.266248608$.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Proof. Since $h' = 1 - S$ and $g' = S$, one obtains $|h'|^2 - |g'|^2 = 1 - 2\mathrm{Re}\, S$. Nonnegative coefficients of S imply $\sup_{\mathbb{U}} \mathrm{Re}\, S = \sum n\psi_n = m + 1 - e^{-m}$, proving (24). Even at the threshold, $\mathrm{Re}\, S(z) \le S(|z|) < 1/2$ for $|z| < 1$, so the Jacobian remains strictly positive inside the disk. Above the threshold, it becomes negative on the positive real axis sufficiently close to 1.

This exact bound must be distinguished from general class membership. For example, at $m = 0.2$ the mapping is sense-preserving and belongs to the basic $(k, \tau, \gamma) = (0,0,0)$ class, which also guarantees univalence. Yet it does not belong to the narrower class with $k = \gamma = 0$ and $\tau = 1$, whose threshold is approximately 0.123033. The general membership conditions guarantee geometric properties without being necessary for those properties at every parameter choice.

5. MEMBERSHIP ON INTERVALS AND COEFFICIENT MULTIPLIERS

5.1. The neutrosophic interval criterion

Corollary 1. Membership $\Psi(m,\cdot) \in \mathcal{T}_H^{k,0}(\tau,\gamma)$ holds for every representative in (4) if and only if

$$m_U \le m_k^*(\tau,\gamma). \tag{25}$$

Indeed, the strictly increasing function Δ_k attains its largest value on the interval at m_U. Thus a monotone condition over a compact parameter interval is checked at its largest parameter. The neutrosophic interpretation identifies this parameter set with the uncertainty in $d + I$.

If $I_L = I_U$, the representative set is a singleton and the classical Poisson criterion is recovered. For $k = \tau = \gamma = 0$, the interval $[0.10, 0.20]$ is entirely admissible, whereas $[0.20, 0.30]$ contains representatives on both sides of the threshold. Membership for some representatives and membership for all representatives are therefore different statements.

5.2. Poisson convolution and partial sums

Let $\mathcal{P}(m,z) = z + \sum_{n\ge2} \psi_n(m) z^n$. For a function of the form (1), define the coefficient multiplier

$$\Lambda(m) f(z) = z - \sum_{n\ge2} \psi_n(m) a_n z^n + \overline{\sum_{n\ge2} \psi_n(m) b_n z^n}. \tag{26}$$

Theorem 5. For every $m > 0$, the operator $\Lambda(m)$ maps $\mathcal{T}_H^{k,0}(\tau,\gamma)$ into itself.

Proof. Since $0 \le \psi_n(m) \le 1$, the operator cannot increase any term in (3). The same argument applies separately to all representatives of an interval. The membership threshold for the two-sided test mapping imposes no restriction here: applying a Poisson multiplier to a class member differs from testing the mapping whose two coefficient sequences both equal ψ_n.

The argument extends to any coefficient multiplier with $0 \le \sigma_n \le 1$. In particular, the partial sum $f_N(z) = z - \sum_{n=2}^{N} a_n z^n + \overline{\sum_{n=2}^{N} b_n z^n}$ remains in the class and satisfies

$$|f(z) - f_N(z)| \le \frac{1-\gamma}{W_{N+1}^+} |z|^{N+1}. \tag{27}$$

This estimate follows because the weights increase with n; it is sharp for an appropriate analytic mapping with a single nonzero higher coefficient. It provides quantitative control of finite-series approximations to functions whose membership is known.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

6. NUMERICAL RESULTS AND ILLUSTRATIONS

6.1. Threshold calculations

Thresholds were computed by bisection on the initial bracket $[a, b] = [0,5]$. At each iteration, $c = (a + b)/2$ was used to replace the left endpoint when $\Delta_k(c) \leq 0$ and the right endpoint otherwise. Computation stopped when $|\Delta_k(c)| < 10^{-12}$ or $b - a < 10^{-14}$. Standard double-precision arithmetic was used. Table 1 reports the results to six decimal places.

Table 1. Membership thresholds for γ = 0. The columns correspond to τ = 0, 0.5, and 1. Source: numerical calculations for this study.

k	**τ = 0**	**τ = 0.5**	**τ = 1**
0	0.266249	0.166421	0.123033
1	0.123033	0.080071	0.059994
2	0.059994	0.039670	0.029867
3	0.029867	0.019882	0.014990
4	0.014990	0.010006	0.007543

Every column decreases strictly with k. The diagonal equalities between consecutive rows reflect (22). For $k = 0$, the thresholds at $\tau = 0,0.5,1$ are respectively 0.266249, 0.166421, and 0.123033.

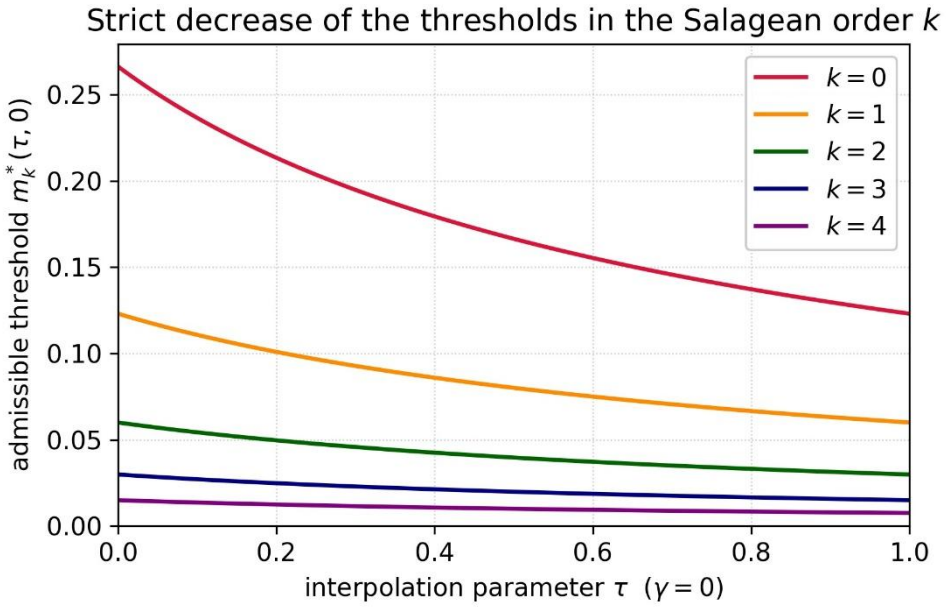


Figure 1. Threshold curves $m_k^*(\tau, 0)$ for $k = 0,1,2,3,4$. Their strict ordering follows from Theorem 3. Source: numerical calculations for this study.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

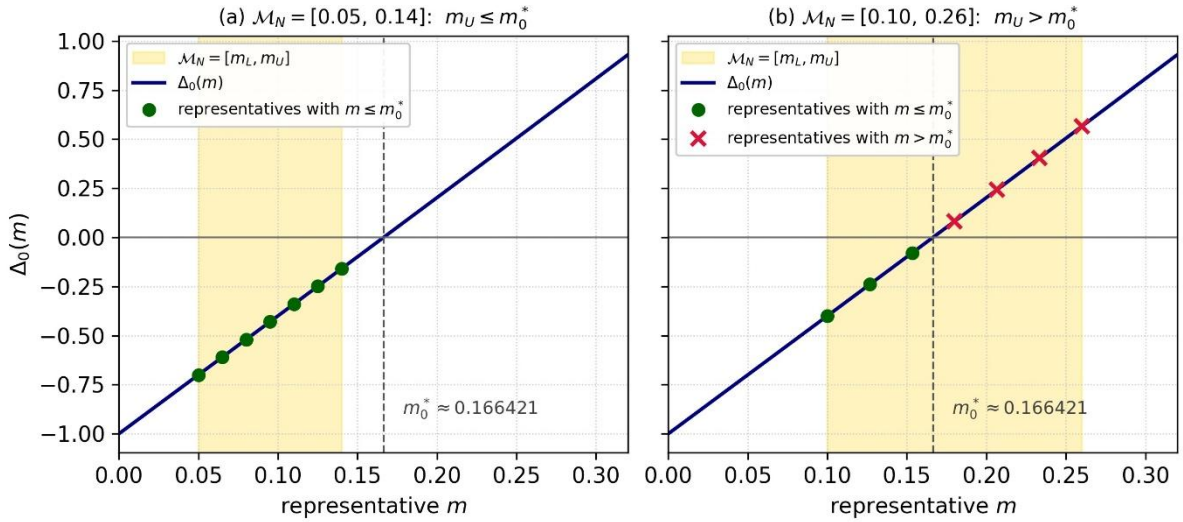


Figure 2. Representative intervals $[0.05, 0.14]$ and $[0.10, 0.26]$ for $k = \gamma = 0$, $\tau = 0.5$, and $m_0^* \approx 0.166421$. The first interval is entirely admissible; the second crosses the threshold. Source: numerical calculations for this study.

6.2. Jacobian values and parameter effects

The analytic Jacobian infimum in Theorem 4 was compared with numerical minima on $|z| = 0.999$, using 60 series terms and 720 equally spaced angles. The infimum over the open disk and the minimum on a fixed inner circle are different quantities; the latter may exceed the former.

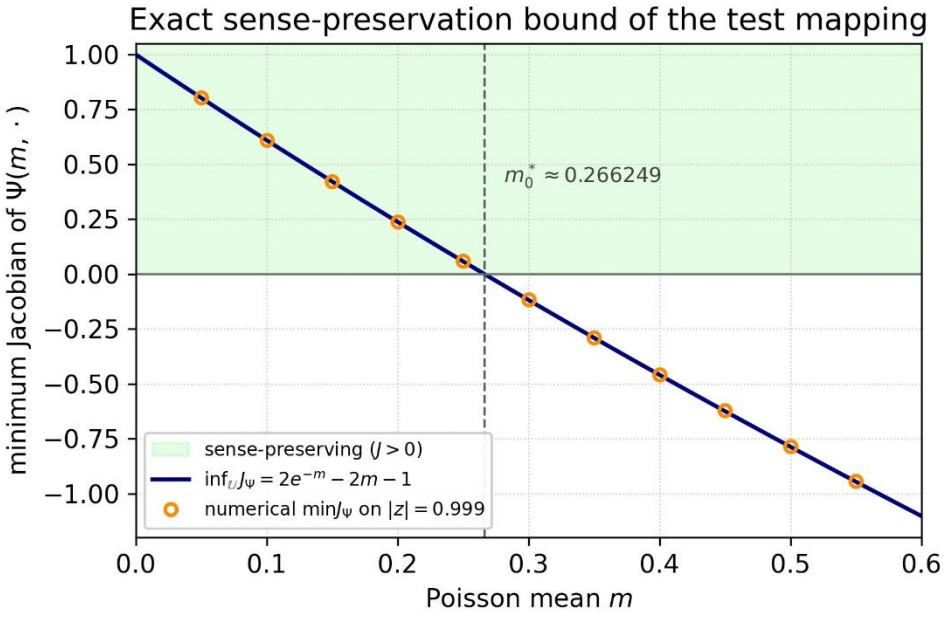


Figure 3. The analytic bound $2e^{-m} - 2m - 1$ and numerical minimum Jacobian values on $|z| = 0.999$. The zero crossing corresponds to the basic membership threshold. Source: numerical calculations for this study.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

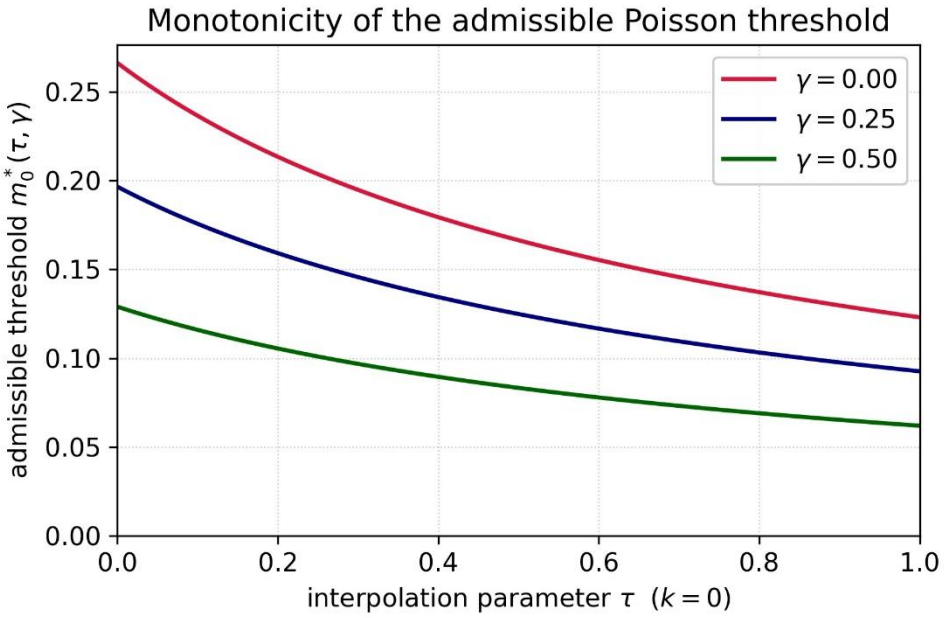


Figure 4. Admissible mean thresholds for $k = 0$ and orders $\gamma = 0{,}0.25{,}0.50$. Increasing either τ or γ decreases the threshold. Source: numerical calculations for this study.

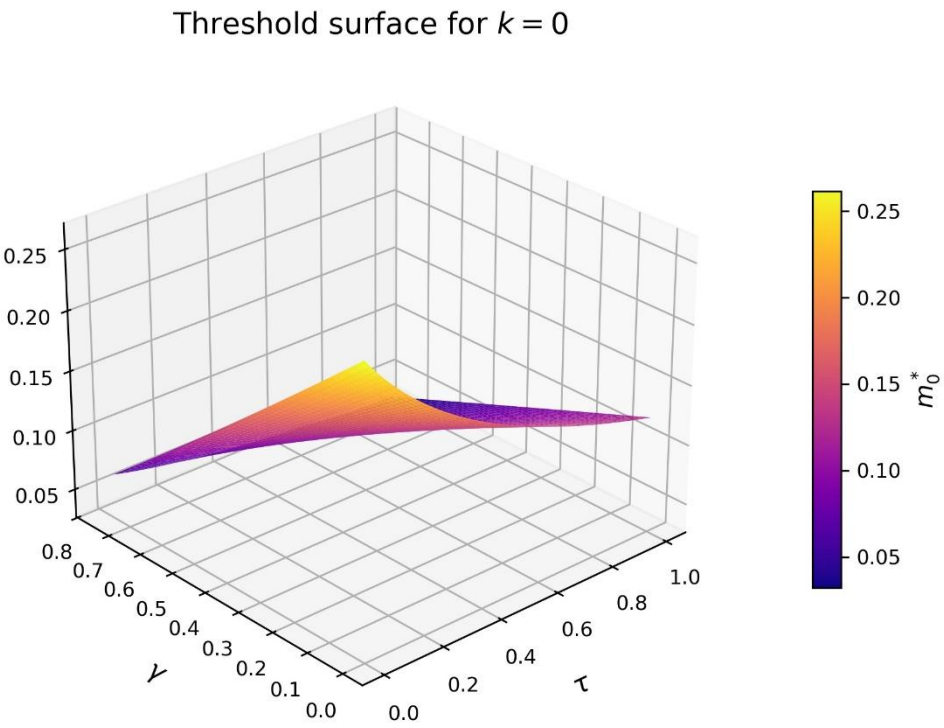


Figure 5. Threshold surface for $k = 0$, $0 \le \tau \le 1$, and $0 \le \gamma \le 0.75$. Membership throughout an interval requires m_U to lie at or below the corresponding surface value. Source: numerical calculations for this study.

6.3. A one-term Poisson example

As a separate example from the two-sided test series, consider

$$f_m(z) = z + me^{-m\overline{z}^2}. \tag{28}$$

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Since $2me^{-m} \leq 2/e < 1$, this mapping belongs to $\mathcal{T}_H^{0,0}(0,0)$ for every $m > 0$. Only the second co-analytic coefficient is retained; this is not a truncation of Ψ retaining both its analytic and co-analytic coefficients.

The coefficient me^{-m} increases up to $m = 1$ and then decreases. Its being smaller than $1/2$ does not imply that the image domain lies inside the deltoid of $G_2(z) = z + \overline{z}^2/2$. At $z = -1$, for example, $f_m(-1) = -1 + me^{-m} < -1/2$, whereas the deltoid meets the negative real axis at $-1/2$. By continuity, nearby interior points also lie beyond that boundary. The illustration should therefore be read as a comparison of shapes.

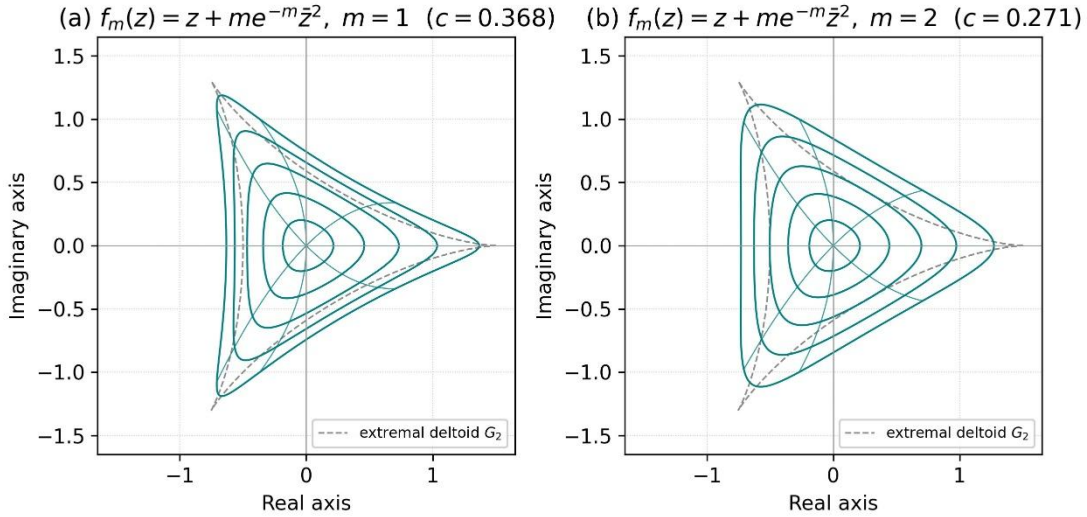


Figure 6. Images of the one-term harmonic Poisson mapping for $m = 1$ and $m = 2$. The dashed deltoid is a reference curve; no inclusion between the image domains is asserted. Source: numerical calculations for this study.

The interior grid uses circles $|z| = 0.2,0.4,0.6,0.8,1$ and eight equally spaced radial segments. Boundary curves were sampled at 600 points and radial segments at 120 points. The figures illustrate the theorems; numerical sampling does not replace the analytic proofs.

7. CONCLUSIONS

Membership of the symmetric harmonic Poisson series in the weighted class reduces to one inequality involving shifted Poisson moments. Every operator order has a unique threshold, and these thresholds strictly decrease in all three parameter directions. Membership throughout a neutrosophic representative interval can be checked solely at its upper endpoint. The exact Jacobian calculation distinguishes the general membership criteria from the sense-preserving boundary.

The coefficient multiplier approach explains why the Poisson operator preserves the class for every positive mean and gives a partial-sum error bound. The neutrosophic framework is used as an interval-indexed family of classical Poisson laws. For asymmetric coefficients $a_n = \alpha\psi_n(m_a)$ and $b_n = \beta\psi_n(m_b)$, the same moment method can be applied to membership regions involving two means. Other discrete distributions and positive operator weights provide further directions for this approach.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

REFERENCES

[1] Porwal, S. An application of a Poisson distribution series on certain analytic functions. Journal of Complex Analysis, 2014, 2014, 984135.

[2] Murugusundaramoorthy, G.; Vijaya, K.; Porwal, S. Some inclusion results of certain subclass of analytic functions associated with Poisson distribution series. Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 2016, 45, 1101–1107.

[3] Dixit, K. K.; Porwal, S. Some properties of harmonic functions defined by convolution. Kyungpook Mathematical Journal, 2009, 49, 751–761.

[4] Awolere, I. T.; Oladipo, A. T. Applications of neutrosophic Poisson probability distribution series for certain subclasses of analytic univalent functions. TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics, 2023, 13, 1042–1052.

[5] Awolere, I. T.; Oladipo, A. T.; Altınkaya, Ş. Application of neutrosophic Poisson distribution series on harmonic classes of analytic functions defined by q-derivative operator and sigmoid function. Earthline Journal of Mathematical Sciences, 2024, 14, 745–763.

[6] Gbolagade, A. M.; Awolere, I. T.; Adeyemo, O.; Oladipo, A. T. Application of the neutrosophic Poisson distribution series on the harmonic subclass of analytic functions using the Sălăgean derivative operator. Neutrosophic Systems with Applications, 2024, 23, 1–14.

[7] Adeyemo, O.; Gbangbala, S. A.; Ayeni, A. A.; Akinwale, F. I.; Aremu, A. O. Class of analytic function defined by neutrosophic Poisson distribution. Neutrosophic Sets and Systems, 2026, 97, 603–622.

[8] Smarandache, F. Neutrosophy: Neutrosophic Probability, Set, and Logic. American Research Press, Rehoboth, NM, 1998.

[9] Al-Habib, R.; Ranna, M. M.; Farah, H.; Salama, A. A. Some neutrosophic probability distributions. Neutrosophic Sets and Systems, 2018, 22, 30–38.

[10] Sălăgean, G. Ş. Subclasses of univalent functions. Complex Analysis—Fifth Romanian-Finnish Seminar, Lecture Notes in Mathematics 1013, Springer, Berlin–Heidelberg, 1983, 362–372.

[11] Jahangiri, J. M. Harmonic functions starlike in the unit disk. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 1999, 235, 470–477. DOI: 10.1006/jmaa.1999.6377.

[12] Duren, P. Harmonic Mappings in the Plane. Cambridge Tracts in Mathematics 156, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

[13] Comtet, L. Advanced Combinatorics. Reidel, Dordrecht, 1974.

[14] Graham, R. L.; Knuth, D. E.; Patashnik, O. Concrete Mathematics, 2nd ed.. Addison-Wesley, Reading, MA, 1994.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

COEFFICIENT BOUNDS AND GEOMETRIC PROPERTIES OF SĂLĂGEAN WEIGHTED HARMONIC FUNCTIONS

Hasan BAYRAM
Department of Mathematics, Bursa Uludağ University, Türkiye
hbayram@uludag.edu.tr | ORCID: 0000-0001-8106-6834

Sibel YALÇIN
Department of Mathematics, Bursa Uludağ University, Türkiye
syalcin@uludag.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0243-8263

ABSTRACT

We study a coefficient defined family of normalized harmonic mappings with negative analytic coefficients and non-negative co-analytic coefficients. The weights combine Sălăgean factors with a parameter interpolating between coefficient criteria for starlikeness and convexity. A sign-preserving Sălăgean–Al-Oboudi transform gives an exact characterization of membership through starlikeness of the transformed mapping. The defining inequality implies sense-preserving univalence and yields parameter inclusions, sharp coefficient bounds, and Fekete–Szegő-type estimates. Distortion and covering bounds lead to a sharp class specific Bohr type radius. Sharp radii of full starlikeness and full convexity are established by direct angular calculations for one term extremal mappings. An explicit counterexample shows that the convexity coefficient criterion is sufficient but is not necessary throughout the chosen sign family. We also determine the extreme points and prove closure under convex combinations, coefficient multipliers, and the modified Hadamard product. Numerical examples and images of harmonic mappings illustrate how the interpolation parameter changes the admissible coefficients and geometric radii. The results distinguish the coefficient-defined family from the larger geometric classes to which its members belong.

Keywords: Harmonic univalent functions; Sălăgean operator; coefficient bounds; Bohr type inequality; extreme points.

1. INTRODUCTION

Harmonic univalent function theory examines how an analytic part and a co-analytic part jointly determine the geometry of a planar mapping. Following the foundational work of Clunie and Sheil-Small [1], coefficient conditions have provided effective criteria for sense-preservation and starlikeness. Duren [2] develops the geometric background, while Silverman [3] and Jahangiri [4] obtain sharp estimates for families with prescribed coefficient signs.

We study a harmonic family whose weights combine the Sălăgean coefficient factors [5] with an interpolation parameter. Starting from a single coefficient inequality, we obtain a transform characterization, parameter inclusions, coefficient and Fekete–Szegő-type estimates, distortion and covering bounds, and a Bohr-type radius. We also determine sharp radii of starlikeness and convexity, identify the extreme points, and establish closure properties.

The distinction between a coefficient definition and a geometric characterization is essential. In particular, the convexity coefficient criterion used here is sufficient; it is not necessary

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

throughout the chosen sign family. The extreme-point and closure arguments follow the classical coefficient-simplex method [3, 4, 10]. Our focus is the precise bounds and operator description produced by the present weights, together with their geometric interpretation.

2. PRELIMINARIES AND OPERATOR STRUCTURE

2.1. Harmonic mappings and coefficient criteria

Let $\mathbb{U} = \{z \in \mathbb{C}: |z| < 1\}$. We consider harmonic mappings of the form

$$\begin{gathered} f(z) = h(z) + \overline{g(z)}, \\ h(z) = z - \sum_{n=2}^{\infty} a_n z^n, \qquad g(z) = \sum_{n=2}^{\infty} b_n z^n. \end{gathered} \tag{1}$$

Here $a_n, b_n \geq 0$, and the normalizations are $f(0) = 0$, $h'(0) = 1$, and $g'(0) = 0$. The function g is analytic; the co-analytic contribution is $\overline{g}$. We denote the coefficient cone (1) by $\mathcal{T}_H^0$. Its members are not assumed univalent a priori.

For $0 \leq \gamma < 1$, full starlikeness of order γ means that $\partial_\theta \arg f(re^{i\theta}) > \gamma$ on each circle $0 < r < 1$. Full convexity of order γ is defined by the same lower bound for the angular derivative of the tangent argument. The coefficient criteria employed below ensure the respective property on every concentric subdisk.

Within the sign family (1), Jahangiri's characterization [4] states that sense-preserving univalence and starlikeness of order γ are equivalent to

$$\sum_{n\geq 2}(n-\gamma)\, a_n + \sum_{n\geq 2}(n+\gamma)\, b_n \leq 1-\gamma. \tag{2}$$

For convexity we use the sufficient condition

$$\sum_{n\geq 2} n(n-\gamma)\, a_n + \sum_{n\geq 2} n(n+\gamma)\, b_n \leq 1-\gamma. \tag{3}$$

The order-zero sufficiency also appears in [6, Theorem 3]. For general order, apply the sufficient starlikeness criterion for absolute coefficients to $zh' - \overline{zg'}$ and use $\partial_\theta f = i(zh' - \overline{zg'})$. This proves sufficiency of (3), without establishing necessity.

2.2. The weighted class and its transform characterization

Fix $k \in \mathbb{N}_0$, $0 \leq \tau \leq 1$, and $0 \leq \gamma < 1$. Define

$$\begin{aligned} W_n^+ &= n^k(n-\gamma)[1+\tau(n-1)], \\ W_n^- &= n^k(n+\gamma)[1+\tau(n-1)]. \end{aligned} \tag{4}$$

The class $\mathcal{T}_H^{k,0}(\tau,\gamma)$ consists of mappings (1) satisfying

$$\sum_{n\geq 2}(W_n^+ a_n + W_n^- b_n) \leq 1-\gamma. \tag{5}$$

At $\tau = 0$ these are Sălăgean-weighted starlikeness coefficients. At $k = 0$, $\tau = 1$ they are the coefficients of the sufficient convexity criterion. The latter coefficient-defined class does not coincide with the entire harmonic convex family.

For an analytic function $\phi(z) = \sum_{n\geq 1} c_n z^n$, let $D^k\phi(z) = \sum_{n\geq 1} n^k c_n z^n$ be the Sălăgean operator [5]. Thus $D^0\phi = \phi$ and $D^{k+1}\phi = z(D^k\phi)'$. Introduce the transforms

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

$$D_\tau^k = (1-\tau)D^k + \tau D^{k+1},$$
$$\mathfrak{D}_\tau^k f = D_\tau^k h + \overline{D_\tau^k g}. \tag{6}$$

The one-step factor is Al-Oboudi's operator [7]. Both analytic parts receive the same positive coefficient multiplier. This sign-preserving transform must be distinguished from the conventional harmonic Sălăgean operator, whose co-analytic part includes the factor $(-1)^k$.

Theorem 1. For $f \in \mathcal{T}_H^0$, membership in $\mathcal{T}_H^{k,0}(\tau,\gamma)$ is equivalent to sense-preserving univalence and starlikeness of order γ of $\mathfrak{D}_\tau^k f$. Every member of the class itself also has these geometric properties.

Proof. The transformed coefficients are $\tilde{a}_n = n^k[1+\tau(n-1)]a_n$ and $\tilde{b}_n = n^k[1+\tau(n-1)]b_n$, so the sign pattern is preserved. Substituting these coefficients into (2) gives exactly (5). Moreover, $W_n^+ \geq n-\gamma$ and $W_n^- \geq n+\gamma$, and hence (5) implies (2) for f itself. Jahangiri's theorem [4] completes the proof.

Sense-preservation can also be checked directly, including boundary cases of the coefficient inequality. Put $S_a = \sum n a_n$ and $S_b = \sum n b_n$. From (2) and $\sum a_n \leq (1-\gamma)/(2-\gamma)$ we obtain $S_a + S_b \leq 1$. For $|z| = r < 1$, this gives $|g'(z)| \leq rS_b \leq r(1-S_a) < 1 - rS_a \leq |h'(z)|$. At $z = 0$ the assertion follows from normalization.

Theorem 2. If $k_1 \leq k_2$, $\tau_1 \leq \tau_2$, and $\gamma_1 \leq \gamma_2$, then

$$\mathcal{T}_H^{k_2,0}(\tau_2,\gamma_2) \subseteq \mathcal{T}_H^{k_1,0}(\tau_1,\gamma_1). \tag{7}$$

Proof. The factors n^k and $1+\tau(n-1)$ are non-decreasing in their respective parameters. Also, $\partial_\gamma[(n-\gamma)/(1-\gamma)] = (n-1)/(1-\gamma)^2 > 0$ and $\partial_\gamma[(n+\gamma)/(1-\gamma)] = (n+1)/(1-\gamma)^2 > 0$. Comparing the normalized weights proves (7). At $k = 0$, $\tau = 0$, the class equals the starlike family within the prescribed coefficient cone; it is therefore not a proper subclass for every parameter choice.

2.3. Why the convexity condition is not necessary

Consider $f(z) = z - 3z^2/20 + 3\overline{z}^2/20$. Writing $z = x + iy$, we have $f(z) = x + i(1-3x/5)y$ and $J_f = 1 - 3x/5 > 2/5$. Since the real coordinate is unchanged and each vertical fibre is multiplied by a positive factor, the mapping is injective in the unit disk.

For $0 < r \leq 1$, put $w_r(\theta) = f(re^{i\theta})$. The signed turning numerator is

$$\mathrm{Im}\,(\overline{w_r'} w_r'') = r^2\left[1 - \tfrac{3r}{5}(3\cos\theta - 2\cos^3\theta)\right] > 0. \tag{8}$$

Indeed, $3c - 2c^3 \leq \sqrt{2}$ for $-1 \leq c \leq 1$, and $3\sqrt{2}/5 < 1$. Each image circle is a regular simple closed curve with positive turning, so every image subdisk is convex. Nevertheless, at $\gamma = 0$ the left side of (3) equals $4(3/20 + 3/20) = 6/5 > 1$. Thus the convexity coefficient condition is not necessary for the present sign family.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3. SHARP COEFFICIENT AND GEOMETRIC ESTIMATES

3.1. Coefficients and Fekete–Szegő-type functionals

Theorem 3. Every class member satisfies, for $n \geq 2$,

$$a_n \leq \frac{1-\gamma}{W_n^+}, \qquad b_n \leq \frac{1-\gamma}{W_n^-}, \qquad a_n + b_n \leq \frac{1-\gamma}{W_n^+}. \tag{9}$$

All bounds are sharp. The relevant extremal mappings are

$$H_n(z) = z - \frac{1-\gamma}{W_n^+} z^n, \qquad G_n(z) = z + \frac{1-\gamma}{W_n^-} \overline{z}^n. \tag{10}$$

Proof. Each non-negative term in (5) is bounded by its total. The last inequality follows from $W_n^- \geq W_n^+$. The mappings in (10) attain the individual coefficient bounds, and H_n attains the bound for the sum.

Theorem 4. Write $h(z) = z + A_2 z^2 + A_3 z^3 + \cdots$, where $A_j = -a_j$. For every $\mu \in \mathbb{C}$,

$$|A_3 - \mu A_2^2| \leq \max\left\{\frac{1-\gamma}{W_3^+},\ |\mu|\left(\frac{1-\gamma}{W_2^+}\right)^2\right\}, \tag{11}$$

$$|b_3 - \mu b_2^2| \leq \max\left\{\frac{1-\gamma}{W_3^-},\ |\mu|\left(\frac{1-\gamma}{W_2^-}\right)^2\right\}. \tag{12}$$

Both estimates are sharp.

Proof. Set $\alpha = (1-\gamma)/W_2^+$ and $\beta = (1-\gamma)/W_3^+$. Then $a_2/\alpha + a_3/\beta \leq 1$, and hence $|A_3 - \mu A_2^2| \leq \beta(1 - a_2/\alpha) + |\mu| a_2^2$. The right side is a convex quadratic on $0 \leq a_2 \leq \alpha$, so its maximum occurs at an endpoint. Equality is attained by H_3 or H_2. The same argument with the minus weights and G_3, G_2 proves the second estimate. These are class-specific coefficient optimizations inspired by the classical Fekete–Szegő functional [8].

The defining inequality and the arithmetic–geometric mean inequality also give

$$a_2 b_2 \leq \frac{(1-\gamma)^2}{4 W_2^+ W_2^-}, \tag{13}$$

with equality when $W_2^+ a_2 = W_2^- b_2 = (1-\gamma)/2$.

3.2. Distortion, covering, and a Bohr-type radius

Theorem 5. Let $\rho = (1-\gamma)/W_2^+ = (1-\gamma)/[2^k(2-\gamma)(1+\tau)]$. Then $0 < \rho \leq 1/2$ and, for $|z| = r < 1$,

$$r - \rho r^2 \leq |f(z)| \leq r + \rho r^2, \qquad \{w : |w| < 1 - \rho\} \subset f(\mathbb{U}). \tag{14}$$

The distortion bounds and the covering radius are sharp.

Proof. The weights increase with n, and (5) yields $\sum(a_n + b_n) \leq \rho$. The triangle and reverse triangle inequalities give the distortion bounds. For H_2, the lower bound is attained at $z = r$ and the upper bound at $z = -r$. Letting $r \to 1^-$ in the lower estimate, together with univalence and $f(0) = 0$, proves the covering assertion. The same analytic extremal proves sharpness. When $\gamma > 0$, $W_2^- > W_2^+$, and G_2 does not attain the global distortion bounds.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Theorem 6. Every member of the class satisfies

$$r + \sum_{n\geq 2}(a_n + b_n)r^n \leq \operatorname{dist}(f(0), \partial f(\mathbb{U})) \tag{15}$$

for $0 \leq r \leq R_B$, where

$$R_B = \frac{\sqrt{1+4\rho(1-\rho)}-1}{2\rho}. \tag{16}$$

The radius is sharp.

Proof. The left side of (15) is at most $r + \rho r^2$, while the right side is at least $1 - \rho$. The positive solution of $r + \rho r^2 = 1 - \rho$ is (16). Equality for H_2 proves sharpness. This is a majorant inequality for the present class, rather than the classical Bohr radius problem [9].

3.3. Radii of full starlikeness and full convexity

For $0 \leq \eta < 1$, define

$$Q_n(\eta) = \min\left\{\frac{W_n^+}{n-\eta}, \frac{W_n^-}{n+\eta}\right\}. \tag{17}$$

The two uniform radii can be written as

$$R_S(\eta) = \min\left\{1, \inf_{n\geq 2}\left[\frac{1-\eta}{1-\gamma}Q_n(\eta)\right]^{1/(n-1)}\right\}, \tag{18}$$

$$R_C(\eta) = \min\left\{1, \inf_{n\geq 2}\left[\frac{1-\eta}{1-\gamma}\frac{Q_n(\eta)}{n}\right]^{1/(n-1)}\right\}. \tag{19}$$

Theorem 7. Every class member is fully starlike of order η in $|z| < R_S(\eta)$ and fully convex of order η in $|z| < R_C(\eta)$. These uniform radii cannot be increased.

Proof. The normalized dilation $F_r(z) = f(rz)/r$ has coefficients $a_n r^{n-1}$ and $b_n r^{n-1}$. The definitions (18) and (19) give the normalized weight comparisons needed for (2) and the sufficient convexity criterion (3), respectively. Sufficiency therefore follows from (5).

For sharpness, no general necessity assertion for the convexity coefficient criterion is needed. Consider the one-term mappings $H(z) = z - cz^n$ and $G(z) = z + c\overline{z}^n$. Put $t = r^{n-1}$. As long as $nct < 1$, direct angular calculations give the starlikeness minima

$$\min \partial_\theta \arg H = \frac{1-nct}{1-ct}, \qquad \min \partial_\theta \arg G = \frac{1-nct}{1+ct} \tag{20}$$

and the tangent-argument minima

$$\begin{aligned} \min \partial_\theta \arg(\partial_\theta H) &= \frac{1-n^2ct}{1-nct}, \\ \min \partial_\theta \arg(\partial_\theta G) &= \frac{1-n^2ct}{1+nct}. \end{aligned} \tag{21}$$

Comparing these quantities with η yields the exact one-term bounds. Substituting $c = (1-\gamma)/W_n^+$ or $c = (1-\gamma)/W_n^-$ gives the two competitors in each radius formula. If sense-preservation fails earlier, the required geometric property already fails. Even when an infimum is not attained, every larger radius admits an index whose one-term extremal violates the corresponding property. This proves uniform sharpness.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

4. EXTREME POINTS AND CLOSURE PROPERTIES

Theorem 8. Set $H_1(z) = z$. The members of the class are exactly the mappings

$$f = X_1 H_1 + \sum_{n\geq 2}(X_n H_n + Y_n G_n), \quad X_1 + \sum_{n\geq 2}(X_n + Y_n) = 1, \tag{22}$$

where all coordinates are non-negative. The series converges locally uniformly. The class is closed and convex in the topology of locally uniform convergence, and its extreme points are H_1, H_n, and G_n.

Proof. Choose $X_n = W_n^+ a_n/(1-\gamma)$, $Y_n = W_n^- b_n/(1-\gamma)$, and $X_1 = 1 - \sum(X_n + Y_n)$. This gives (22), and the converse follows by substitution. Local uniform convergence is immediate from the summable non-negative coordinates and the bounds on the extremals on compact subdisks. For closedness, recover coefficients by Fourier integrals on an interior circle. Local uniform convergence preserves the coefficients and normalization. Passing to the limit in each finite weighted sum and then increasing the number of terms preserves (5).

The barycentric coordinates are uniquely determined by the coefficients. A point with one coordinate equal to 1 admits no non-trivial convex decomposition. If two coordinates are positive, a sufficiently small transfer of mass between them produces two distinct class members whose average is the original mapping. Such a point is not extreme. Closure under convex combinations follows from the linearity of the coefficient inequality.

Theorem 9. Every coefficient multiplier $0 \leq \sigma_n \leq 1$ maps the class into itself. In particular, partial sums remain in the class, and for $N \geq 2$,

$$|f(z) - f_N(z)| \leq \frac{1-\gamma}{W_{N+1}^+}|z|^{N+1}. \tag{23}$$

Proof. Multiplication by σ_n cannot increase the weighted coefficient sum. On the tail, use $W_n^- \geq W_n^+ \geq W_{N+1}^+$ and $||^n \leq |z|^{N+1}$. The analytic extremal H_{N+1} proves sharpness.

The standard Hadamard product does not preserve the negative analytic signs. For $F(z) = z - \sum A_n z^n + \overline{\sum B_n z^n}$, use the modified product [10]

$$(f \circledast F)(z) = z - \sum_{n\geq 2} a_n A_n z^n + \overline{\sum_{n\geq 2} b_n B_n z^n}. \tag{24}$$

Theorem 10. If f and F belong to the class, then so does $f \circledast F$. Indeed, Theorem 3 gives $0 \leq A_n, B_n < 1$, so the new weighted sum does not exceed the sum for f. Retaining the negative sign in the analytic part is the essential difference from standard convolution.

5. NUMERICAL AND GRAPHICAL EXAMPLES

For $k = \gamma = 0$, the co-analytic extreme points are $G_n(z) = z + \overline{z}^n/[n(1+\tau(n-1))]$. At $\tau = 0$, the boundary images for $n = 2,3,4$ are hypocycloids with three, four, and five cusps. Univalence holds in the open disk; the limiting degeneration of the Jacobian at boundary cusps does not contradict this assertion. Such graphical studies of harmonic mappings are discussed in [2, 11].

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

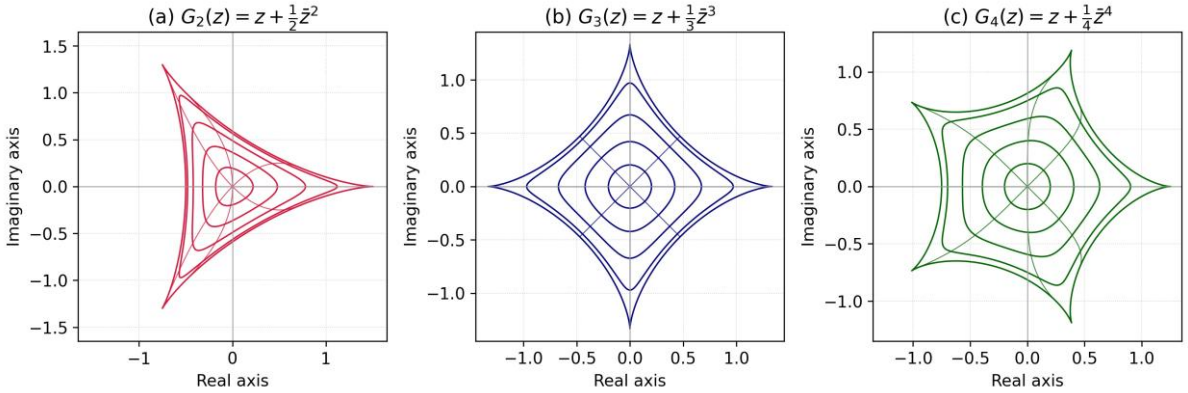


Figure 1. Interior grids and limiting boundary curves for $G_n(z) = z + \overline{z}^n/n$, $n = 2,3,4$. The cusps belong to the boundary images. Source: the authors' numerical calculations.

The effect of τ is already visible in $G_2^{(\tau)}(z) = z + \overline{z}^2/[2(1+\tau)]$: its co-analytic coefficient decreases from $1/2$ to $1/4$. This is a reduction in the perturbation coefficient; it does not imply nesting of the image domains for different parameters.

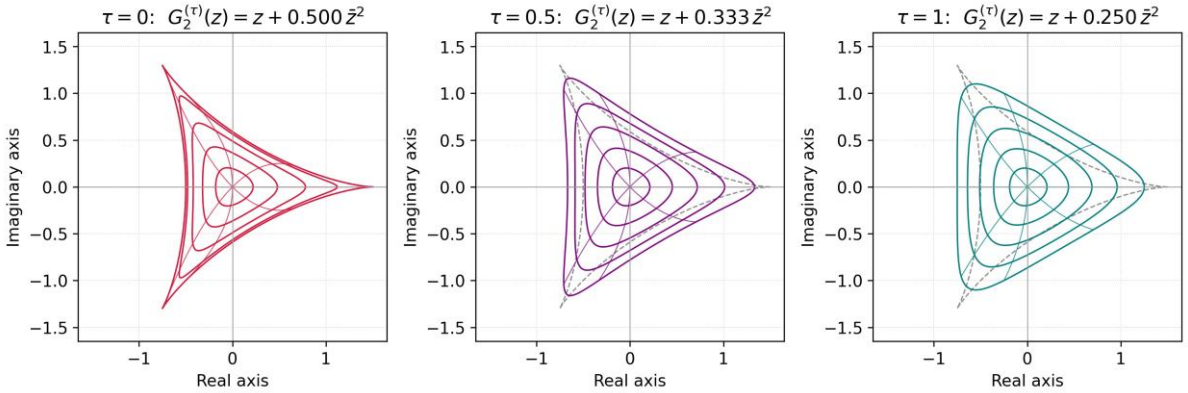


Figure 2. Images under $G_2^{(\tau)}$ for $\tau = 0,1/2,1$. The dashed extremal deltoid is a reference curve, not a claimed containing domain. Source: the authors' numerical calculations.

For $k = \gamma = 0$, the competitors determining $R_S(1/2)$ and $R_C(0)$ are

$$d_n(\tau) = \left[\frac{n[1+\tau(n-1)]}{2n+1}\right]^{1/(n-1)}, \qquad c_n(\tau) = \left[\frac{1+\tau(n-1)}{n}\right]^{1/(n-1)}. \tag{25}$$

Both infima occur at $n = 2$, and hence

$$R_S(1/2) = \frac{2(1+\tau)}{5}, \qquad R_C(0) = \frac{1+\tau}{2}. \tag{26}$$

This conclusion is not based on a finite numerical search. With $s = n - 1$, we have $\log c_n = -\int_\tau^1 (1+us)^{-1}\,du$. The integrand decreases with s, so c_n increases; for $\tau = 1$ all values equal 1. For $n \geq 3$, put $F_n = \log d_n - \log d_2$. Then $F_n' = 1/[1+\tau(n-1)] - 1/(1+\tau) \leq 0$. At $\tau = 1$, $d_n^{n-1} = n^2/(2n+1) > 1 > (4/5)^{n-1}$, so $F_n > 0$ throughout the interval.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Table 1. Candidate radii of starlikeness and convexity. Both infima are attained at n = 2. Source: numerical calculations for this study.

τ	d_2	d_3	d_4	c_2	c_3	c_4
0	0.400000	0.654654	0.763143	0.500000	0.577350	0.629961
0.5	0.600000	0.925820	1.035744	0.750000	0.816497	0.854988
1	0.800000	1.133893	1.211414	1.000000	1.000000	1.000000

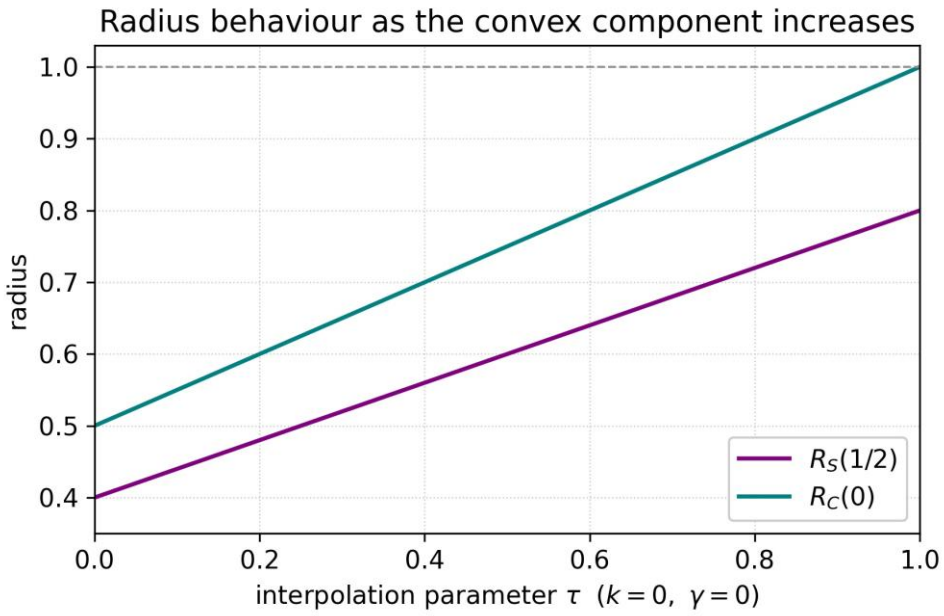


Figure 3. Linear dependence of $R_S(1/2)$ and $R_C(0)$ on τ for $k = \gamma = 0$. Source: the authors' numerical calculations.

The mapping plots use the circles $|z| = 0.2,0.4,0.6,0.8,1$ and eight equally spaced radii. Boundary curves are sampled at 600 points and radii at 120 points. The figures illustrate the analytic results; they do not replace their proofs.

6. CONCLUSIONS

The weighted coefficient budget provides a common basis for the geometric properties and sharp estimates of the class. The sign-preserving Sălăgean–Al-Oboudi transform characterizes membership through starlikeness of the transformed mapping. For the original mappings, the coefficient inequality yields starlikeness, distortion, covering, and a class-specific Bohr-type estimate. Direct calculations for one-term extremals establish the sharp geometric radii.

Distinguishing sufficiency from necessity in the convexity criterion is essential both for interpreting the endpoint weights and for proving radius sharpness. The counterexample shows that the coefficient-defined family does not exhaust the geometric convex family. Extreme points and closure follow from the classical simplex method. Mixed harmonic coefficient

functionals, Hankel determinants, and other positive coefficient multipliers provide further questions within this framework.

REFERENCES

[1] Clunie, J.; Sheil-Small, T. Harmonic univalent functions. Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Series A I Mathematica, 1984, 9, 3–25.

[2] Duren, P. Harmonic Mappings in the Plane. Cambridge Tracts in Mathematics 156, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

[3] Silverman, H. Harmonic univalent functions with negative coefficients. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 1998, 220, 283–289.

[4] Jahangiri, J. M. Harmonic functions starlike in the unit disk. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 1999, 235, 470–477. DOI: 10.1006/jmaa.1999.6377.

[5] Sălăgean, G. Ş. Subclasses of univalent functions. Complex Analysis—Fifth Romanian-Finnish Seminar, Lecture Notes in Mathematics 1013, Springer, Berlin–Heidelberg, 1983, 362–372.

[6] Jahangiri, J. M.; Silverman, H. Harmonic close-to-convex mappings. Journal of Applied Mathematics and Stochastic Analysis, 2002, 15(1), 23–28.

[7] Al-Oboudi, F. M. On univalent functions defined by a generalized Sălăgean operator. International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences, 2004, 2004, 1429–1436.

[8] Fekete, M.; Szegő, G. Eine Bemerkung über ungerade schlichte Funktionen. Journal of the London Mathematical Society, 1933, s1-8, 85–89.

[9] Bohr, H. A theorem concerning power series. Proceedings of the London Mathematical Society, 1914, s2-13, 1–5.

[10] Schild, A.; Silverman, H. Convolutions of univalent functions with negative coefficients. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio A, 1975, 29, 99–107.

[11] Yalçın, S.; Bayram, H.; Oros, G. I. Some properties and graphical applications of a new subclass of harmonic functions defined by a differential inequality. Mathematics, 2024, 12, 2338. DOI: 10.3390/math12152338.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ARDUINO UNO AND ESP8266-BASED IOT-INTEGRATED SMART GREENHOUSE AUTOMATION SYSTEM: AN APPLIED PROTOTYPE WITH PRIORITY LOGIC AND POWER MANAGEMENT

Cemre YILDIZ

Manisa Celal Bayar University,

cemre.yildiz2003@gmail.com- ORCID ID: 0009-0001-4386-7953

Hayati MAMUR

Manisa Celal Bayar University,

hayati.mamur@cbu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

Traditional greenhouse management requires continuous manual monitoring of multiple environmental parameters, which is time-consuming and error-prone. This study presents an IoT-integrated smart greenhouse automation system based on Arduino UNO and ESP8266, developed as an applied prototype. The system processes real-time data from DHT11, LDR, soil moisture, and water level sensors, and automatically controls irrigation, ventilation, and lighting based on predefined thresholds. The main contribution is the "Priority Logic" algorithm, which disables auxiliary loads during irrigation to ensure maximum current for the pump and prevent voltage drops. A software-based PWM control via an IRFZ44N MOSFET safely operates a 6V pump with a 12V supply, eliminating the need for a buck converter. Motor-induced EMI affecting the LCD was suppressed by a 470 µF capacitor. Data are transmitted to ThingSpeak every 60 seconds via the ESP8266 at 9600 baud. Experimental results confirm stable operation without resets or data loss. The proposed system offers a scalable, energy-efficient prototype for smart agriculture.

Keywords: Smart Greenhouse, Arduino UNO, ESP8266, IoT, ThingSpeak.

1. INTRODUCTION

Greenhouse agriculture increases agricultural productivity and product quality by enabling year-round cultivation under controlled conditions. However, the manual monitoring and control of multiple parameters such as temperature, humidity, light, and soil moisture is both time-consuming and error-prone. In particular, the manual management of irrigation, ventilation, and lighting operations leads to water and energy waste, deterioration of plant health, and increased labor costs. To overcome these problems, automatic control mechanisms based on sensor data and remote monitoring solutions are required [1].

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

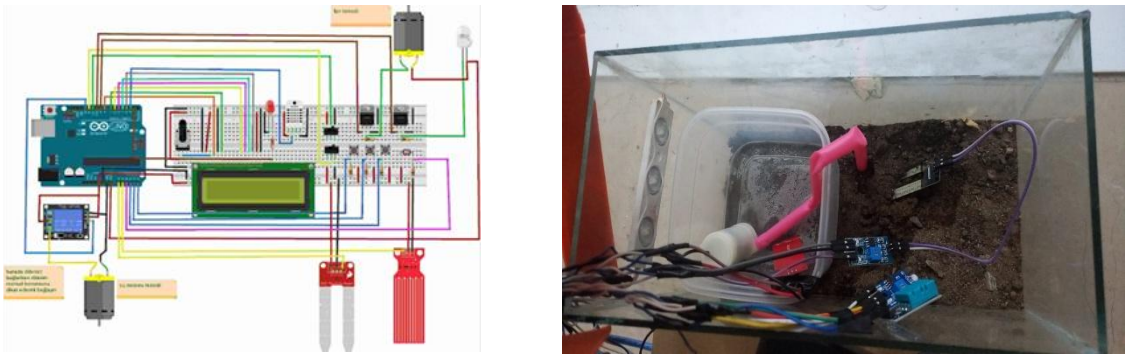
In recent years, the integration of Internet of Things (IoT) technologies into agricultural applications has accelerated the development of smart greenhouse systems. Various studies on sensor-based monitoring, automatic actuator control, and cloud-based data logging can be found in the literature [2]–[5]. However, a common deficiency of existing studies is that power management and signal integrity issues in multi-actuator greenhouse systems have not been adequately addressed. The simultaneous operation of high-current components such as the pump, fan, and LED lighting can cause sudden drops in the supply voltage, unexpected resets of the microcontroller, and unstable operation of sensitive components [6]. In addition, electromagnetic interference (EMI) generated by DC motorized pumps can cause corruption of the LCD screen through the I²C communication line.

In this study, to address the aforementioned deficiencies, an IoT-integrated smart greenhouse automation system based on Arduino UNO and ESP8266 microcontrollers was developed as an applied prototype. The system processes real-time data from a DHT11 temperature-humidity sensor, an LDR light sensor, a resistive soil moisture sensor, and a water level sensor, and automatically controls irrigation, ventilation, and lighting operations according to predefined threshold values. The original contributions of the system can be summarized under four headings: (i) a Priority Logic algorithm that temporarily disables auxiliary loads such as the fan and LED during critical irrigation to provide maximum current for the pump, (ii) a software-based PWM control applied via an IRFZ44N MOSFET for the safe operation of a 6V pump with a 12V supply, (iii) suppression of motor-induced EMI by a 470 µF capacitor connected in parallel to the motor supply line, and (iv) reliable data transmission to the ThingSpeak cloud platform via the ESP8266. When these contributions are evaluated together, the proposed system is shown to offer a scalable, energy-efficient, and reliable prototype for smart agriculture applications using low-cost components.

2. MATERIALS AND METHOD

At the center of the system is the Arduino UNO microcontroller board, where all sensor data are processed and actuators are controlled. The ESP8266 Wi-Fi module was used for IoT connectivity, and the module communicates with the Arduino via the SoftwareSerial protocol. Four different sensors were employed to monitor environmental parameters: a DHT11 sensor for temperature and humidity measurement, an LDR (Light Dependent Resistor) for determining ambient light level, a resistive soil moisture sensor for monitoring soil moisture, and a water level sensor for checking the water level in the reservoir. The system includes three actuators: a 12V fan that is activated when the temperature threshold is exceeded, a 12V LED strip that operates when ambient light is insufficient, and a 6V DC submersible pump that irrigates when soil moisture falls below the critical level. The fan and LED strip are controlled through a 2-channel relay module, while the pump is driven by a PWM signal through an IRFZ44N MOSFET driver. A 16x2 character I²C LCD screen was used as the user interface; the system status, sensor values, and operating mode are displayed on this screen. The general circuit diagram of the system is given in Figure 1.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



a) **b)**

Figure 1. General a) Circuit Diagram and b) Experimental Setup

Power distribution plays a critical role in the stability of the system. A 12V DC adapter was used as the main power source. High-current components (fan and LED strip) are powered directly from the 12V line and isolated from the microcontroller via the relay module. Sensitive electronic components (sensors, ESP8266, and LCD) are powered from the Arduino's regulated 5V and 3.3V outputs. This separation ensures that digital components are protected from high-current switching noise. The most important original contribution of the system is the "Priority Logic" algorithm, developed to prevent voltage drops that occur when multiple actuators operate simultaneously. In a greenhouse environment, the simultaneous operation of the pump, fan, and LED lighting exceeds the maximum current that the 12V adapter can supply and leads to system instability. The algorithm developed to solve this problem executes tasks in order of priority. Accordingly, when soil moisture falls below the threshold value, the system first forcibly disables the fan and LED lighting, and then activates the pump. After irrigation is completed, the fan and LED control becomes active again. This approach guarantees that maximum current is provided for the pump while also preventing system resets and LCD corruption. The 6V DC submersible pump used in the system can be damaged by overvoltage when operated directly with the 12V adapter, which is the main power source. To solve this problem, a software-based PWM (Pulse Width Modulation) method was preferred instead of the conventional approach of using a buck converter. The pump is driven through an IRFZ44N N-channel MOSFET and controlled via the Arduino's PWM output. The duty cycle value was set to approximately 50%; in this way, the 12V supply voltage is effectively reduced to approximately 6V, ensuring safe operation of the pump. This method eliminates the need for an external voltage-reducing circuit, reducing both cost and circuit complexity.

The electromagnetic interference (EMI) generated during the operation of the DC motorized pump can cause adverse effects on the digital components of the system. During the development process, character corruption and data loss were observed on the I²C LCD screen when the pump was activated. To overcome this problem, a 470 µF electrolytic capacitor was placed in parallel with the motor supply line. The capacitor absorbs the high-frequency noise generated during motor switching, suppresses fluctuations in the supply line, and protects the LCD's I²C communication line. Thanks to this measure, no corruption was observed on the LCD screen while the pump was running, and stable operation of the digital components was

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ensured. The system connects to the ThingSpeak cloud platform via the ESP8266 Wi-Fi module. ThingSpeak allows the recording and graphical display of temperature, humidity, light level, and soil moisture data through four different data fields. Data transmission is carried out at 60-second intervals, ensuring efficient use of system resources. During the communication of the ESP8266 module with the Arduino via the SoftwareSerial protocol, data loss and synchronization problems were observed at high baud rates. To solve this problem, the baud rate of the module was reduced from 115200 to 9600 using AT commands. Thanks to the reduced baud rate, data transmission became stable and packet loss was eliminated.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The developed smart greenhouse automation system was tested under controlled conditions. The system successfully connected to the ThingSpeak cloud platform via the ESP8266 module at a baud rate of 9600, and four different environmental parameters were recorded in real time. The data collected during the test period are presented in Figure 2.

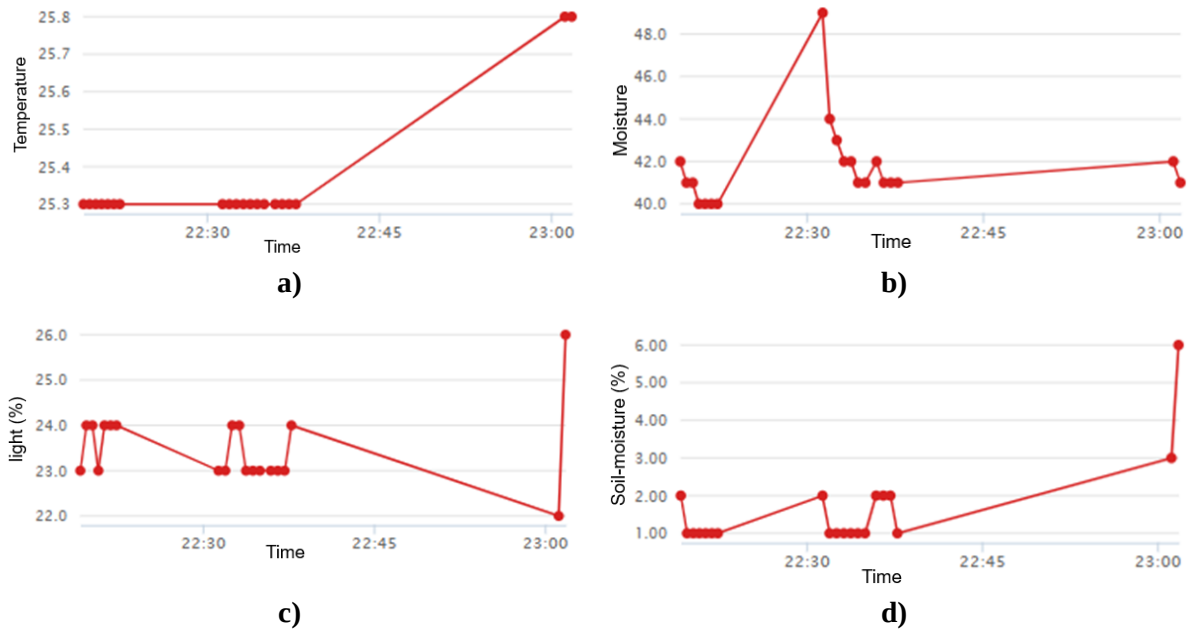


Figure 2. Real-Time Environmental Data Recorded via ThingSpeak: a) Temperature, b) Humidity, c) Light, and d) Soil Moisture

The data displayed on the ThingSpeak dashboard are grouped under four fields. Temperature data (Field 1) followed a stable course between 25.3°C and 25.8°C; the slight increase indicates that the system is sensitive to minor thermal changes. Humidity data (Field 2) exhibited dynamic fluctuations between 40% and 48%, confirming that the DHT11 sensor responds to the environment. Light intensity data (Field 3) provided information about ambient lighting conditions by converting analog values into percentage values via the LDR sensor. Soil moisture data (Field 4) were measured between 1% and 6% during the test period. Since the irrigation threshold value was defined as 30%, these low values confirm that the soil was dry and demonstrate that the system correctly identified the "Irrigation Required" condition and

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

activated the irrigation algorithm. The most critical test of the system was the verification of power management performance under simultaneous operation of multiple actuators. When soil moisture fell below the threshold value, the irrigation task was triggered and the "Priority Logic" algorithm was activated. The algorithm first forcibly disabled the fan and LED lighting, then activated the pump. During this process, no voltage drop, microcontroller reset, or LCD corruption was observed. After irrigation was completed, fan and LED control became active again, and the system returned to its normal operating mode. This result proves that the Priority Logic algorithm is effective in preventing voltage drops and ensuring system stability. The effect of motor-induced electromagnetic interference (EMI) on digital components was clearly observed in the early stages of development. When the pump was activated, character corruption and data loss occurred on the I²C LCD screen. To solve this problem, a 470 µF electrolytic capacitor connected in parallel to the motor supply line was introduced. In tests conducted after capacitor integration, no corruption was observed on the LCD screen while the pump was running, and stable operation of the digital components was verified. This result demonstrates how critical passive filtering is for signal integrity in mixed-signal embedded systems. Within the scope of the system's IoT integration, data were sent to the ThingSpeak cloud platform at 60-second intervals via the ESP8266 module. In the initial trials, data loss and synchronization problems were observed in communication carried out at a high baud rate (115200) via the SoftwareSerial protocol. To overcome this problem, the baud rate of the module was reduced to 9600 using AT commands; subsequent tests confirmed that data packets were transmitted to the cloud without loss. This result shows that baud rate optimization plays a critical role in SoftwareSerial-based communication in low-cost microcontrollers.

Two significant engineering challenges were encountered during the development process, and both were overcome with software-based solutions. The first challenge arose during the operation of the 6V pump with a 12V supply. Instead of using a buck converter, which is the conventional solution, PWM control was applied via an IRFZ44N MOSFET, and the duty cycle value was set to 50% (PWM: 130). In this way, the pump was operated safely without the need for an external voltage-reducing circuit. The second challenge was the corruption of the LCD screen by motor-induced EMI. This problem was completely eliminated by connecting a 470 µF capacitor in parallel to the motor supply line. Both solutions were implemented with software and simple passive components, without increasing the hardware complexity of the system.

4. CONCLUSION

In this study, an IoT-integrated smart greenhouse automation system based on Arduino UNO and ESP8266 microcontrollers was successfully designed, implemented, and tested as an applied prototype. The system processes multiple sensor data in real time to automatically control irrigation, ventilation, and lighting operations, and offers remote monitoring capability through the ThingSpeak cloud platform. During the development process, two significant engineering challenges were overcome with software-based solutions without requiring external hardware: PWM control via an IRFZ44N MOSFET was applied for the safe operation

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

of the 6V pump with a 12V supply, and motor-induced electromagnetic interference was suppressed by a 470 µF capacitor connected in parallel to the motor supply line. In addition, thanks to the developed "Priority Logic" algorithm, auxiliary loads were temporarily disabled during critical irrigation, ensuring system stability. Within the scope of future work, it is planned to convert the breadboard prototype into a custom PCB design, to integrate a PID algorithm for temperature control, and to develop a mobile application that allows users to control actuators remotely.

REFERENCES

[1] Ali, A., Hussain, T., & Zahid, A. (2025). Smart irrigation technologies and prospects for enhancing water use efficiency for sustainable agriculture. AgriEngineering, 7(4), 106.

[2] Kumar, S., Raja, P., & Bhargavi, G. (2018, September). A comparative study on modern smart irrigation system and monitoring the field by using IoT. In 2018 international conference on computing, power and communication technologies (GUCON) (pp. 628-632). IEEE.

[3] Kondaveti, R., Reddy, A., & Palabtla, S. (2019, March). Smart irrigation system using machine learning and IOT. In 2019 international conference on vision towards emerging trends in communication and networking (ViTECoN) (pp. 1-11). IEEE.

[4] García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture. Sensors, 20(4), 1042.

[5] Saraf, S. B., & Gawali, D. H. (2017, May). IoT based smart irrigation monitoring and controlling system. In 2017 2nd IEEE international conference on recent trends in electronics, information & communication technology (RTEICT) (pp. 815-819). IEEE.

[6] Ngoc, T. T. H., Khanh, P. T., & Pramanik, S. (2023). Smart agriculture using a soil monitoring system. In Handbook of Research on AI-Equipped IoT Applications in High-Tech Agriculture (pp. 200-220). IGI Global Scientific Publishing.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ESP32-BASED IoT-ENABLED SMART IRRIGATION SYSTEM WITH PULSE IRRIGATION ALGORITHM

Nami YILMAZ

Manisa Celal Bayar University,

yilmaznami2002@gmail.com- ORCID ID: 0009-0000-2875-5323

Hayati MAMUR

Manisa Celal Bayar University,

hayati.mamur@cbu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

Traditional timer-based irrigation systems may lead to over- or under-irrigation because they do not consider real-time soil moisture. This study presents a low-cost, Internet of Things (IoT)-enabled smart irrigation system based on an ESP32 microcontroller. The system employs a resistive soil moisture sensor, converting raw analog values into percentage values through a 12-bit calibrated mapping function, and continuously monitors soil moisture. Irrigation is performed using an original “Pulse Irrigation” algorithm, which allows the soil to absorb water efficiently and prevents overflow. Electrical noise caused by the back electromotive force (Back-EMF) of the DC motorized pump is suppressed using a 1N4007 flyback diode and a 470 µF decoupling capacitor. The 3.3V–5V voltage mismatch between the ESP32 and the relay is resolved through a software-based "Virtual Scissor" technique. The system provides real-time feedback via an OLED display and enables remote monitoring and instant notifications through the Blynk IoT platform. Experimental results show that soil moisture rises in a controlled manner from 0% to approximately 90% within 35 seconds without overshoot. The proposed system offers a scalable, energy-efficient, and sustainable prototype for smart agriculture applications.

Keywords: Smart Irrigation, ESP32, IoT, Pulse Irrigation, Blynk.

1. INTRODUCTION

The efficient use of water resources is becoming increasingly critical in both agricultural and environmental applications. Traditional timer-based irrigation systems do not take into account the real-time moisture status of the soil, and therefore cause problems such as over-irrigation (water waste, root rot) or under-irrigation (plant stress). This situation not only leads to the waste of water resources but also negatively affects plant health and reduces agricultural productivity. To overcome this problem, automatic control mechanisms based on real-time soil

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

moisture data are required. This need has brought smart irrigation solutions to the forefront, which can optimize both water conservation and plant development [1].

In this study, an IoT-enabled smart irrigation system was developed using an ESP32 microcontroller and a resistive soil moisture sensor, which continuously measures soil moisture and irrigates only when necessary. The original contributions of the system can be summarized under four headings: (i) a Pulse Irrigation Algorithm (2 s irrigation – 5 s waiting) that prevents overflow and compaction, (ii) suppression of Back-EMF noise using a flyback diode and capacitor, (iii) resolution of the 3.3V–5V voltage mismatch through a software-based "Virtual Scissor" technique, and (iv) remote monitoring, data analysis, and instant notification through the Blynk IoT platform. These contributions demonstrate that the proposed system offers significant advantages over existing solutions in terms of both engineering and sustainability.

2. MATERIALS AND METHOD

At the center of the system is an ESP32 development board with built-in Wi-Fi and Bluetooth capabilities [2]. A resistive-type sensor was used for soil moisture measurement; the raw analog data received from the sensor were calibrated in software with 12-bit resolution and converted into a range of 0–100%. Irrigation is carried out using a 5V DC submersible pump, and the pump is controlled through a relay module. A 0.96-inch I^2C OLED display and the Blynk IoT mobile application operate simultaneously as the user interface [3]. The circuit design was created using Proteus Professional 8. In the system, irrigation is performed using the Pulse Irrigation algorithm, which is based on the principle of "irrigate for 2 seconds – wait for 5 seconds" [4]. This method ensures that water is distributed evenly in the soil and prevents pot overflow and water accumulation. It also prevents soil compaction and minimizes water waste. The main reason for preferring intermittent irrigation over continuous pumping is the necessity of allowing sufficient time for the soil to absorb water. In this way, both the plant roots can access water more effectively and unnecessary water consumption is avoided. The algorithm operates with hysteresis control between two threshold values. Accordingly, when the raw sensor value is above 3850 (dry soil condition), the motor is activated; when the raw value falls below 3650 (wet soil condition), the motor is stopped. This difference between the two threshold values prevents unnecessary motor ON/OFF cycles that may arise from sensor fluctuations and ensures stable operation of the system. The irrigation counter is incremented only when the moisture value transitions from the "dry" state to the "wet" state. Short-term pump activations within the pulse irrigation cycle are not reflected in the counter. In this way, the user can accurately track how many times irrigation has actually been performed, while the intermediate cycles carried out by the system are considered only as temporary processes that help the soil absorb water. Voltage fluctuations caused by Back-EMF during the operation of the DC motor can lead to distortions on the OLED display and cause the ESP32 to freeze [5]. To solve this problem, a two-stage protection method was implemented: a 1N4007 flyback diode connected in reverse parallel across the motor terminals suppresses the reverse current generated when the motor stops; a 470 µF decoupling capacitor placed on the power lines

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

buffers the voltage drops during motor startup. In this way, motor-induced noise was completely eliminated, and OLED flickering and ESP32 resets were prevented [6].

The 3.3V output of the ESP32 is insufficient to directly trigger the 5V relay module. In this project, a software-based “Virtual Scissor” (input/output switching) technique was developed without using any additional level-shifter hardware. With this method, the relay is triggered reliably and hardware complexity is reduced. The system is connected to the cloud through the Blynk IoT platform. Thanks to this integration, the user can remotely track the instant moisture value and total irrigation count via the mobile application; can graphically examine daily irrigation amounts, and the counter is automatically reset every night at 00:00. In addition, the moment irrigation starts, the user is informed instantly via both a mobile push notification and an e-mail. The application prototype is given in Figure 1.



Figure 1. Application Prototype

3. RESULTS AND DISCUSSION

The system was tested on a pot with dry soil. While the initial moisture value was close to 0%, the Pulse Irrigation algorithm was activated, and the moisture change was recorded. Table 1 shows the moisture change over time and the motor status.

Table 1. Moisture Change and Motor Status over Time

Time (s)	Soil Moisture (%)	Motor Status	Observation
0	0	ON	System started, soil is dry
2	2	OFF	Motor stopped, waiting for absorption
7	15	ON	Soil absorbed water, still dry
9	18	OFF	Motor stopped, waiting for absorption
14	35	ON	Moisture increasing gradually
16	40	OFF	Motor stopped
21	65	ON	Approaching target
23	70	OFF	Motor stopped
28	85	OFF	Threshold reached, motor stopped
35	92	OFF	Water fully distributed in soil
60	90	OFF	Stable state maintained

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

As seen in Figure 2, the soil moisture did not make a sudden jump but increased gradually. This confirms that the pulse irrigation algorithm prevents overflow and enables the soil to absorb water efficiently. When the moisture reached the target threshold of raw 3600 / ~85%, the system cut off the power, and no over-irrigation occurred. The synchronization delay between the Blynk dashboard and the OLED screen was measured at less than 1 second.

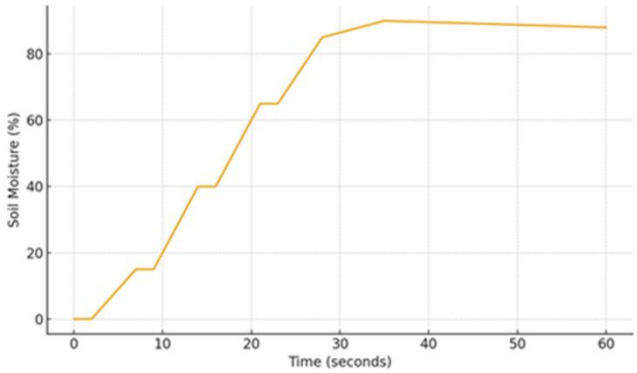


Figure 2. Moisture as a Function of Time

Three main factors stand out that determine the success of the system. The first is Pulse Irrigation efficiency. Thanks to the 2-second intermittent operation instead of continuous pumping, mud formation and water waste were prevented, and sufficient time was allowed for the soil to absorb water. The second is noise filtering. The integration of the 1N4007 flyback diode and the 470 µF capacitor completely eliminated the OLED flickering and ESP32 resets caused by the motor's Back-EMF noise. This result clearly proves how critical hardware-level filtering is in electromechanical IoT projects. The third is relay stability: the developed "Virtual Scissor" technique resolved the voltage mismatch between the 3.3V ESP32 and the 5V relay without requiring any hardware modification and ensured reliable triggering. However, some difficulties were also encountered during the development process. The resistive-type soil sensor showed fluctuating values when kept underwater for a long time, and measurement stability deteriorated due to the electrolysis effect. To overcome this problem, a calibration offset was applied in the code, and the "wet" threshold was readjusted based on real-world test data. Thanks to these measures, sensor measurements became stable and the overall reliability of the system increased.

4. CONCLUSION

In this study, an IoT-based smart irrigation system was successfully designed, prototyped, and tested using an ESP32 microcontroller. Unlike traditional timer-based systems, this prototype performs precision irrigation based on real-time soil moisture data, thereby optimizing both plant health and water conservation. The Pulse Irrigation algorithm has proven to be a superior method in preventing overflow and soil compaction. In addition, significant engineering challenges were also resolved: electrical noise generated by the DC motor was suppressed through the integration of a flyback diode and capacitor; the voltage mismatch between the

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3.3V microcontroller and the 5V relay was eliminated with an original software technique. Thanks to the Blynk IoT platform, the system gained full remote monitoring, real-time data visualization, and notification capabilities. Within the scope of future work, the corrosion problem can be eliminated and device lifetime extended by using a capacitive sensor instead of a resistive moisture sensor. A solar power unit and Li-Ion battery backup can be integrated for outdoor agricultural use. Weather data can be integrated, and irrigation can be postponed in case of rain forecast. In this way, water efficiency can be maximized.

REFERENCES

[1] McDermid, S., Nocco, M., Lawston-Parker, P., Keune, J., Pokhrel, Y., Jain, M., ... & Yokohata, T. (2023). Irrigation in the Earth system. Nature Reviews Earth & Environment, 4(7), 435-453.

[2] Biswas, S. B., & Iqbal, M. T. (2018, May). Solar water pumping system control using a low cost esp32 microcontroller. In 2018 IEEE Canadian conference on electrical & computer engineering (CCECE) (pp. 1-5). IEEE.

[3] Prameswari, R. J., Utomo, S., Zamzami, A. A., Nugraha, A. S., Winata, A., & Devi, M. I. (2026, June). Dynamics of Soil Fertility and Intelligent Irrigation Control in a Portable IoT-Based Smart Farming System. In 2026 2nd International Conference on Smart Mechatronics (ICSMech) (pp. 1-6). IEEE.

[4] Ramesh, L., Chandika, K., Deepika, S., Deepikaa, V., & Dharani, S. (2025, December). Smart Crop Disease Detection and Action. In 2025 10th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS) (pp. 1-7). IEEE.

[5] de Jesús, P. S. A. (2023). IoT-based Drip Irrigation Monitoring and Controlling System using NB-IOT, ESP32+ Raspberry Pi: IoTbased Drip Irrigation Monitoring and Controlling System using NBIOT ESP32+ Raspberry Pi. Revista Cubana de Ciencias Informáticas.

[6] Malar, J. T., & Vaishnavi, M. (2022, August). IoT based smart irrigation system using ESP32. In 2022 3rd International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC) (pp. 1751-1755). IEEE.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

PALLIATIVE CARE KNOWLEDGE AMONG MASTER'S STUDENTS IN NURSING

PhDc. Stela Muça[1], PhD. Flora Zyberaj[2], MPS. Enkelejda Ibro[3], PhD. Juljana Xhindoli[4],

[1,2]Faculty of Medical Technical Sciences, University of Medicine, Tirana.

[3] Local Healthcare Unit, Tirana

[4] Faculty of Health, University of Vlora "Ismail Qemali".

Email address: stela.muca@umed.edu.al

Abstract

Introduction: As healthcare professionals who allocate most of their working time to patient care, nurses must possess a solid understanding of how to care for patients with life-threatening illnesses.

The objective: The objective of this study is to ascertain the extent of knowledge regarding palliative care that is possessed by nursing master`s students, given their future role as providers of patient care.

Methodology: The present study constitutes a descriptive cross-sectional investigation, encompassing a total of 120 first-year students enrolled in the scientific and professional master's programmes in nursing during the period spanning January to February of 2025. The evaluation of knowledge was conducted through a self-administered questionnaire divided into two sections. The initial section of the questionnaire pertained to the students' demographic information, while the subsequent section focused on their understanding of palliative care.

Results: The majority of the students participating in this study were female (83.3%), with 91.7% falling within the 20-25 age group. In relation to their awareness of palliative care, 57.5% of the participants indicated a lack of accurate information and a deficiency in their ability to correctly identify what palliative care signifies. The survey revealed that 51.7% of respondents identified palliative care as being provided exclusively during the final stage of a patient's life.

Conclusions: The study's findings emphasise the inadequate understanding demonstrated by master's degree nursing students concerning palliative care. Given the pivotal role that nurses play in the provision of palliative care, it is essential that they receive fundamental knowledge about this care at the earliest opportunity, ideally during their bachelor's degree programme.

Keywords: Master`s students, nursing programme, palliative care, life-limiting illnesses, knowledge

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

DİJİTAL NESİLDEN DİJİTAL HASTAYA: ÇOCUK VE ERGENLERDE DİJİTAL SAĞLIK OKURYAZARLIĞI VE PEDİATRİ HEMŞİRESİNİN ROLÜ

From the Digital Generation to the Digital Patient: Digital Health Literacy in Children and Adolescents and the Role of the Pediatric Nurse

Doç. Dr. Hakan AVAN [1]

Afşin Sağlık Yüksekokulu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Universitesi, Kahramanmaraş, TÜRKİYE

ORCID ID: 0000-0003-2494-3671

hakanavan@gmail.com

Dr. Öğretim Üyesi VEDAT ARGIN

Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş Sütçü İmam Universitesi, Kahramanmaraş, TÜRKİYE

vedatargin27@gmail.com- ORCID ID: 0000-0002-7063-6915

Özet

Giriş: Dijital sağlık okuryazarlığı (DSOY), bireylerin dijital kaynaklardan elde ettikleri sağlık bilgisini arama, bulma, anlama, değerlendirme ve günlük yaşamına uygulayabilme becerisi olarak tanımlanmaktadır. Sosyal medya, mobil sağlık uygulamaları ve internet tabanlı bilgi kaynaklarıyla iç içe büyüyen "dijital nesil" çocuk ve ergenler için DSOY, sağlık davranışlarını ve hastalık yönetimini doğrudan etkileyen kritik bir beceri hâline gelmiştir. Çocuklarla ve ailelerle okul, birinci basamak, hastane ve toplum ortamlarında en sık teması olan meslek grubu olarak pediatri hemşireleri, bu becerinin geliştirilmesinde stratejik bir konumda yer almaktadır.

Amaç: Bu derlemenin amacı, "Çocuk ve ergenlerde dijital sağlık okuryazarlığını geliştirmede pediatri hemşirelerinin rolü ve hemşirelik temelli müdahalelere ilişkin mevcut kanıtlar nelerdir?" sorusuna kapsam belirleme derlemesi (scoping review) yaklaşımıyla yanıt aramaktır.

Yöntem: Çalışma, Arksey ve O'Malley'in (2005) beş aşamalı çerçevesi ve PRISMA-ScR raporlama kılavuzu temel alınarak yürütülmüştür. Popülasyon-Kavram-Bağlam (PCC) çerçevesi doğrultusunda 0-18 yaş çocuk ve ergenlere yönelik hemşirelik temelli dijital/sağlık okuryazarlığı müdahalelerine odaklanan İngilizce ve Türkçe alan yazın; PubMed/MEDLINE, MDPI (Healthcare), PLOS One, PLOS Digital Health, JMIR, medRxiv ve DergiPark gibi kaynaklar üzerinden tematik olarak taranmış, bulgular anlatısal biçimde sentezlenmiştir.

Bulgular: Alan yazında hemşirelik temelli dijital/sağlık okuryazarlığı müdahalelerinin yaşa göre farklılaştığı; erken çocuklukta hikâye anlatımı ve kitap paylaşımı, okul çağında oyun temelli ve katılımcı stratejiler, ergenlik döneminde ise grup temelli ve dijital platform destekli yaklaşımların öne çıktığı görülmektedir. Müdahaleler ağırlıklı olarak okul ortamında yürütülmekte ve en sık kronik hastalık yönetimi, ruh sağlığı ve beslenme konularını ele almaktadır. Buna karşın erken çocukluk dönemine, birinci basamağa ve savunmasız gruplara yönelik müdahaleler sınırlı kalmakta; standartlaştırılmış ölçüm araçlarının ve uzun dönemli izlem çalışmalarının eksikliği alanın önemli bir kısıtlılığını oluşturmaktadır.

Sonuç: Pediatri hemşireleri, çocuk ve ergenlerde dijital sağlık okuryazarlığının geliştirilmesinde eğitici, danışman ve koruyucu roller üstlenmektedir. Bu rolün güçlendirilmesi; yaşa özgü, kanıta dayalı müdahale protokollerinin geliştirilmesine, standartlaştırılmış

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

değerlendirme araçlarına ve pediatri hemşireliği eğitim müfredatına dijital sağlık okuryazarlığı içeriklerinin sistemli biçimde entegre edilmesine bağlıdır.

Anahtar Kelimeler: Dijital sağlık okuryazarlığı, e-sağlık okuryazarlığı, pediatri hemşireliği, çocuk, ergen, hemşirelik müdahalesi, kapsam belirleme derlemesi

Abstract

Introduction: Digital health literacy (DHL) is defined as the ability of individuals to search for, locate, understand, evaluate, and apply health information obtained from digital sources in their daily lives. For children and adolescents growing up immersed in social media, mobile health applications, and internet-based information sources as part of the "digital generation," DHL has become a critical skill that directly influences health behaviors and disease management. As the professional group that has the most frequent contact with children and families in school, primary care, hospital, and community settings, pediatric nurses are strategically positioned to promote the development of this skill.

Aim: This review aimed to address the question, "What is the current evidence regarding the role of pediatric nurses and nursing-based interventions in promoting digital health literacy among children and adolescents?" using a scoping review approach.

Methods: The study was conducted based on the five-stage framework proposed by Arksey and O'Malley (2005) and the PRISMA-ScR reporting guideline. In accordance with the Population–Concept–Context (PCC) framework, the English- and Turkish-language literature focusing on nursing-based digital/health literacy interventions for children and adolescents aged 0–18 years was thematically searched across sources including PubMed/MEDLINE, MDPI (Healthcare), PLOS ONE, PLOS Digital Health, JMIR, medRxiv, and DergiPark. The findings were synthesized narratively.

Results: The literature indicated that nursing-based digital/health literacy interventions varied according to developmental stage. In early childhood, storytelling and shared book reading were prominent strategies; in school-aged children, play-based and participatory approaches were commonly used; while in adolescence, group-based interventions supported by digital platforms were more prevalent. Interventions were predominantly implemented in school settings and most frequently addressed chronic disease management, mental health, and nutrition. However, interventions targeting early childhood, primary care settings, and vulnerable populations remained limited. The lack of standardized measurement tools and long-term follow-up studies represented important gaps in the field.

Conclusion: Pediatric nurses undertake educational, counseling, and preventive roles in promoting digital health literacy among children and adolescents. Strengthening this role requires the development of age-appropriate, evidence-based intervention protocols; standardized assessment tools; and the systematic integration of digital health literacy content into pediatric nursing education curricula.

Keywords: Digital health literacy, eHealth literacy, pediatric nursing, children, adolescents, nursing intervention, scoping review

GİRİŞ

Sağlık okuryazarlığı, bireylerin sağlığı koruma ve geliştirmeye yönelik bilgiye erişme, bu bilgiyi anlama, değerlendirme ve uygulama kapasitesini ifade eden, sağlığın önemli bir sosyal

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

belirleyicisi olarak kabul edilmektedir (Sørensen et al., 2012). Dijital teknolojilerin sağlık bilgisine erişimin başlıca kanalı hâline gelmesiyle birlikte, bu kavram "dijital sağlık okuryazarlığı" veya "e-sağlık okuryazarlığı" olarak genişlemiştir. Norman ve Skinner (2006), e-sağlık okuryazarlığını dijital kaynaklardan sağlık bilgisi arama, bulma, anlama ve değerlendirme; edinilen bilgiyi bir sağlık sorununu çözmek için uygulayabilme becerisi olarak tanımlamış ve bu beceriyi ölçmek üzere geliştirdikleri eHEALS (eHealth Literacy Scale) ölçeği, alanda en sık kullanılan değerlendirme aracı hâline gelmiştir(Norman & Skinner, 2006).

Sosyal medya, mobil sağlık uygulamaları, çevrimiçi sağlık forumları ve yapay zekâ destekli bilgi kaynaklarıyla iç içe büyüyen günümüz çocuk ve ergenleri, sıklıkla "dijital nesil" olarak adlandırılmaktadır. Bu nesil, sağlık bilgisine erişimde büyük ölçüde dijital kaynaklara yönelmekte; ancak bu kaynakların güvenilirliğini eleştirel biçimde değerlendirme becerisi her zaman yeterli düzeyde gelişmemiş olabilmektedir (Arias López et al., 2023). Yanlış veya yanıltıcı sağlık bilgisinin (infodemi) yaygınlaşması, çocuk ve ergenlerde dijital sağlık okuryazarlığının geliştirilmesini daha da acil bir öncelik hâline getirmektedir (Linney et al., 2026).

Çocuklarla ve aileleriyle okul, birinci basamak sağlık hizmetleri, hastane ve toplum ortamlarında sık ve düzenli temas kuran pediatri hemşireleri, sağlık eğitimi, iletişim desteği, hastalık öz-yönetimi eğitimi, koruyucu danışmanlık sağlama ve bilgiyi çocuğun gelişim dönemine ve aile bağlamına uyarlama gibi işlevleriyle, dijital sağlık okuryazarlığının geliştirilmesinde stratejik bir konumda yer almaktadır (Fragoso et al., 2026). Bununla birlikte, çocukluk ve ergenlik dönemine özgü sağlık okuryazarlığı alan yazını hâlâ parçalı bir görünüm sergilemekte; hemşirelik temelli müdahalelere odaklanan sentez çalışmaları sınırlı kalmaktadır.

Alanın kavramsal çeşitliliği, hedef yaş gruplarının genişliği (yenidoğandan ergenliğe) ve müdahale bağlamlarının heterojenliği nedeniyle, bu derlemede müdahale etkililiğinin nicel olarak sentezlendiği bir sistematik derleme yerine, alanın kapsamını ve bilgi boşluklarını haritalamayı amaçlayan bir kapsam belirleme derlemesi (scoping review) yaklaşımı tercih edilmiştir (Arksey & O'Malley, 2005). Bu doğrultuda çalışmanın derleme sorusu şu şekilde belirlenmiştir: "Çocuk ve ergenlerde dijital sağlık okuryazarlığını geliştirmede pediatri hemşirelerinin rolü ve hemşirelik temelli müdahalelere ilişkin mevcut kanıtlar nelerdir?"

PEDİATRİ HEMŞİRELİĞİ: KAPSAM, ROLLER VE DİJİTAL DÖNÜŞÜM BAĞLAMI

Hemşireliğin uzmanlık alanlarından biri olan pediatri hemşireliği (çocuk sağlığı ve hastalıkları hemşireliği), çocuğu ve aileyi bakımın merkezine alan, yenidoğan döneminden başlayarak ergenlik döneminin sonuna kadar tüm gelişim evrelerini kapsayan bütüncül bir uygulama alanıdır. Pediatri hemşiresi; çocukların aile ve toplum içinde fiziksel, bilişsel, duygusal ve sosyal yönden sağlıklı büyüme ve gelişmesini destekleme, hastalıklardan korunmasını ve sağlığının en üst düzeye çıkarılmasını sağlama, hastalandığında ise tedavi, bakım ve rehabilitasyon sürecini yürütme sorumluluğunu taşımaktadır (Abuhammad, 2025; Çetinkaya et al., 2017).

Pediatri hemşiresinin rol ve işlevleri yasal olarak tanımlanmış olsa da, bu roller sağlık ve hastalık durumlarına ilişkin bilimsel ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda sürekli olarak yeniden şekillenmektedir (Abuhammad, 2025; Taskin Guzelyazici & Kiziler, 2026). Klasik olarak bakım verici, eğitici, danışman, savunucu (advocate), koordinatör ve araştırmacı gibi çok boyutlu rolleri üstlenen pediatri hemşiresi, günümüzde bu rollerini giderek artan biçimde dijital araçlar ve platformlar üzerinden de yerine getirmek durumunda kalmaktadır. Nitekim yenidoğan ve çocuk sağlığı hizmetlerinde bilgi teknolojisi sistemleri, dijital sağlık uygulamaları

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ve inovatif hemşirelik ürünlerinin yaygınlaşması, pediatri hemşiresinin eğitici ve danışmanlık rollerini doğrudan dönüştürmektedir (Loutfy et al., 2026; Mohamed, 2026; Taskin Guzelyazici & Kiziler, 2026).

Bu bağlamda dijital sağlık okuryazarlığının geliştirilmesi, pediatri hemşiresinin klasik eğitici ve danışmanlık rolünün doğal bir uzantısı olarak değerlendirilebilir. Çocuğun ve ailenin sağlık bilgisine büyük ölçüde dijital kaynaklar üzerinden eriştiği günümüz sağlık ekosisteminde, pediatri hemşiresinin bu bilgiye erişimi yönlendirme, bilginin doğruluğunu değerlendirmeyi öğretme ve çocuğun gelişim dönemine uygun biçimde sağlık okuryazarlığı becerisi kazandırma sorumluluğu, mesleğin güncel kapsamının ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. Bu nedenle, izleyen bölümlerde ele alınan hemşirelik temelli dijital sağlık okuryazarlığı müdahaleleri, pediatri hemşireliğinin tarihsel olarak sahip olduğu eğitici ve koruyucu rollerin dijital çağa uyarlanmış bir görünümü olarak okunmalıdır.

YÖNTEM

Bu çalışma, kapsam belirleme derlemelerinin metodolojik referans çerçevesi olarak kabul edilen Arksey ve O'Malley'in (2005) beş aşamalı modeli temel alınarak tasarlanmış ve raporlanmasında PRISMA-ScR kontrol listesi ilkelerinden yararlanılmıştır (Tricco et al., 2018).

1. Derleme Sorusunun ve PCC Çerçevesinin Belirlenmesi

Derleme sorusu, Popülasyon–Kavram–Bağlam (PCC) çerçevesine göre yapılandırılmıştır:

- Popülasyon: 0-18 yaş arası çocuk ve ergenler (Dünya Sağlık Örgütü'nün çocukluk tanımı esas alınmıştır)
- Kavram: Dijital/e-sağlık okuryazarlığını geliştirmeye yönelik, pediatri hemşireleri tarafından tasarlanan, uygulanan veya yönlendirilen hemşirelik müdahaleleri
- Bağlam: Okul, birinci basamak sağlık hizmetleri, hastane, toplum ve çevrimiçi/dijital ortamlar dâhil olmak üzere hemşirelik uygulamasının gerçekleştiği tüm ortamlar

2. Kaynak Tarama Süreci

Konuyla ilgili İngilizce ve Türkçe alan yazın; PubMed/MEDLINE, MDPI (Healthcare dergisi), PLOS One, PLOS Digital Health, JMIR (Journal of Medical Internet Research), medRxiv ve Türkçe kaynaklar için DergiPark platformu üzerinden taranmıştır. Tarama; "digital health literacy children adolescents", "eHealth literacy nursing", "nursing interventions health literacy pediatric", "adolescent digital health literacy", "dijital sağlık okuryazarlığı çocuk", "e-sağlık okuryazarlığı hemşirelik", "pediatri hemşireliği dijital ebeveynlik" gibi anahtar terim kombinasyonları kullanılarak yürütülmüştür. İçerme ölçütleri; çocuk ve/veya ergenleri katılımcı olarak içeren, dijital veya genel sağlık okuryazarlığını hedefleyen ve hemşirelerin merkezi/belirleyici bir role sahip olduğu (hemşirelik öğrencilerinin denetim altında yürüttüğü uygulamalar dâhil) özgün araştırma, sistematik/kapsam belirleme derlemesi ve protokolleri kapsamaktadır. Yalnızca ebeveyn/bakım veren veya sağlık profesyoneli eğitimine odaklanan, çocuğun doğrudan dâhil olmadığı çalışmalar kapsam dışı bırakılmıştır.

3. Verilerin Haritalanması ve Sentezlenmesi

Belirlenen kaynaklardan elde edilen bulgular; (a) dijital sağlık okuryazarlığı kavramının çocuk/ergen popülasyonuna özgü boyutları, (b) pediatri hemşirelerinin rolü ve hemşirelik temelli müdahaleler ve (c) ölçüm araçları ve metodolojik sınırlılıklar olmak üzere üç ana tema altında anlatı biçiminde haritalanmıştır. Kapsam belirleme derlemelerinin doğası gereği, dâhil edilen çalışmaların metodolojik kalitesi/yanlılık riski ayrı ayrı değerlendirilmemiş; bunun

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

yerine alanın genişliği, kavramsal çeşitliliği ve bilgi boşlukları betimlenmeye çalışılmıştır (Arksey & O'Malley, 2005).

BULGULAR

1. Dijital Sağlık Okuryazarlığı Kavramının Çocuk ve Ergen Popülasyonuna Özgü Boyutları

Sağlık okuryazarlığı, Sørensen ve ark. (2012) tarafından geliştirilen modelde sağlık hizmeti, sağlığın geliştirilmesi ve hastalıktan korunma olmak üzere üç temel alanı kapsayan çok boyutlu bir kavram olarak tanımlanmaktadır (Sørensen et al., 2012). Bu üç alan, dijital sağlık okuryazarlığı bağlamında da geçerliliğini korumakta; ancak dijital ortamın eklediği ek karmaşıklık (bilgi kaynağının güvenilirliğini değerlendirme, çevrimiçi mahremiyeti yönetme, dijital araçları etkili kullanma) çocuk ve ergen popülasyonunda ayrı bir dikkat gerektirmektedir (Arias López et al., 2023). Norman ve Skinner'ın (2006) eHEALS ölçeği, alanda en yaygın kullanılan değerlendirme aracı olmakla birlikte, bu ölçeğin büyük ölçüde yetişkin popülasyonu için geliştirildiği ve çocuklara özgü gelişimsel farklılıkları yeterince yansıtmadığı belirtilmektedir (Fragoso et al., 2026).

Park ve Kwon'un (2018) çocuk ve ergenlerde sağlıkla ilişkili internet kullanımını inceledikleri sistematik derlemesi, bu yaş grubunun sağlık bilgisine erişimde interneti yaygın biçimde kullandığını, ancak bilgiyi eleştirel değerlendirme becerisinin yaşla ve dijital deneyimle ilişkili olarak değiştiğini ortaya koymuştur (Park & Kwon, 2018). Linney ve ark.'nın (2026) ergenlerde dijital sağlık okuryazarlığına ilişkin kapsam belirleme derlemesi protokolünde vurgulandığı üzere, yetişkinlerde dijital sağlık okuryazarlığı ile sağlık davranışları arasındaki ilişki nispeten iyi belgelenmişken, ergenlere özgü kanıtlar hâlâ sınırlı düzeydedir (Linney et al., 2026).

Gomes ve ark. (2024), çocuk ve ergenlerde sağlık okuryazarlığının sosyal belirleyicilerini inceledikleri kapsam belirleme derlemesinde, ebeveyn eğitim düzeyi, sosyoekonomik durum ve okul ortamının sağlık okuryazarlığı düzeyini etkileyen başlıca etkenler arasında yer aldığını; bu belirleyicilerin dijital sağlık okuryazarlığı bağlamında da benzer biçimde geçerli olabileceğini bildirmiştir (Gomes et al., 2024). Bu bulgu, dijital sağlık okuryazarlığı müdahalelerinin sosyoekonomik eşitsizlikleri derinleştirmemesi için özel olarak tasarlanması gerektiğine işaret etmektedir.

2. Pediatri Hemşirelerinin Rolü ve Hemşirelik Temelli Müdahaleler

Bu alandaki en kapsamlı sentez, Fragoso ve ark.'nın (2026) Joanna Briggs Institute metodolojisine dayanan ve PRISMA-ScR kılavuzuna uygun biçimde raporlanan kapsam belirleme derlemesidir (Fragoso et al., 2026). Bu derlemede, 1997-2025 yılları arasında yayımlanan ve %66'sı 2020 sonrasına ait olan 44 çalışma incelenmiş; hemşirelik müdahalelerinin sağlık hizmeti, sağlığın geliştirilmesi ve hastalıktan korunma olmak üzere üç ana alanda kümelendiği belirlenmiştir. En sık ele alınan konular kronik hastalık yönetimi (n=12; astım, kistik fibroz, kanser, tip 1 diyabet, epilepsi, konjenital kalp hastalığı), ruh sağlığı (n=7) ve beslenme/gıda okuryazarlığı (n=5) olmuştur.

Fragoso ve ark. (2026), hemşirelik müdahalelerinin çocuğun gelişim dönemine göre belirgin biçimde farklılaştığını ortaya koymuştur: erken çocukluk döneminde (yalnızca 2 çalışma) hikâye anlatımı ve kitap paylaşımı temelli "ROAR" programı gibi erken okuryazarlık müdahaleleri; okul öncesi ve okul çağı çocuklarda hikâye anlatımı, kitaplar, oyunlar (masa üstü ve dijital), şarkılar, eğitici videolar ve rol yapma gibi gelişimsel açıdan uygun, oyun temelli stratejiler; ergenlerde ise haftalık grup oturumları, diyalog ve tartışma temelli katılımcı yöntemler, atölye çalışmaları, akran arabuluculuğu ve yaygın biçimde dijital platformlar (web

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

tabanlı modüller, mobil uygulamalar, mesajlaşma platformları) kullanılmıştır. Müdahalelerin çoğu (n=24) okul ortamında yürütülmüş, bunu toplum ortamı (n=10), birinci basamak/pediatri kliniği (n=9) ve hastane (n=6) izlemiştir; bir çalışma ise bir çocuk ıslah kurumunda gerçekleştirilmiştir (Fragoso et al., 2026).

İncelenen 44 çalışmanın 19'unda hemşireler müdahalenin doğrudan yürütücüsü konumundayken (3'ü hemşirelik öğrencileri tarafından denetim altında yürütülmüştür), 25 çalışmada hemşireler açıkça tanımlanmış merkezi bir role sahip olmakla birlikte çok disiplinli bir ekibin parçası olarak yer almıştır. Bu bulgu, pediatride dijital/sağlık okuryazarlığı geliştirme çalışmalarının büyük ölçüde iş birlikçi bir uygulama alanı olduğunu, ancak hemşirelerin bu alanda hem bağımsız hem de ekip içi liderlik rolü üstlenebildiğini göstermektedir (Fragoso et al., 2026).

Eling ve ark.'nın (2025) pediatrik romatizmal hastalıklarda dijital sağlık okuryazarlığına ilişkin kapsam belirleme derlemesi protokolü, kronik hastalığı olan çocuk ve ergenlerde dijital sağlık okuryazarlığının hastalık öz-yönetimini güçlendirme, tedaviye uyumu artırma ve sağlık sistemiyle iletişimi kolaylaştırma potansiyeline dikkat çekmektedir (Eling et al., 2025). Bu bulgu, pediatri hemşirelerinin kronik hastalığı olan çocuklarda dijital sağlık okuryazarlığı geliştirmeye yönelik müdahalelerinin, hastalık yönetimi eğitimiyle bütünleşik biçimde tasarlanmasının önemine işaret etmektedir.

3. Ölçüm Araçları ve Metodolojik Sınırlılıklar

Alan yazında dijital/sağlık okuryazarlığını değerlendirmek için kullanılan araçlarda belirgin bir heterojenlik bulunmaktadır. Fragoso ve ark. (2026), incelenen 44 çalışmanın yalnızca birkaçında Ergen Ruh Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği (A-MHLQ), Okul Çağı Çocukları için Sağlık Okuryazarlığı Ölçeği veya Epilepsi Sağlık Okuryazarlığı Ölçeği gibi doğrulanmış, yaşa özgü araçların kullanıldığını; geri kalan çalışmaların çoğunlukla araştırmacılar tarafından geliştirilen özgün anketlere veya genel sağlık geliştirme ölçeklerine dayandığını bildirmiştir (Fragoso et al., 2026). Norman ve Skinner'ın (2006) eHEALS ölçeği, dijital sağlık okuryazarlığı alanında en sık kullanılan araç olmasına karşın, esas olarak yetişkinler için geliştirilmiş olması nedeniyle çocuklara uyarlanmasında sınırlılıklar taşımaktadır (Norman & Skinner, 2006).

Türkçe alan yazında Haney (2018), Okul Çağı Çocukları için Sağlık Okuryazarlığı Ölçeği'nin Türkçe formunun psikometrik özelliklerini test ederek, bu yaş grubuna özgü geçerli ve güvenilir bir değerlendirme aracının Türkiye bağlamında da kullanılabilir hâle gelmesine katkı sağlamıştır (Haney, 2018). Bununla birlikte, dijital sağlık okuryazarlığına özgü, çocuk ve ergenler için Türkçeye uyarlanmış ve psikometrik olarak test edilmiş araçların sayısı hâlâ sınırlıdır.

Standartlaştırılmış ölçüm araçlarının eksikliğinin yanı sıra, alan yazında uzun dönemli izlem çalışmalarının azlığı da önemli bir metodolojik sınırlılık olarak öne çıkmaktadır (Fragoso ve ark., 2026; Linney ve ark., 2026). Bu durum, hemşirelik temelli müdahalelerin dijital sağlık okuryazarlığı üzerindeki etkisinin sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesini güçleştirmektedir.

4. Siber Güvenlik, Dijital Ebeveynlik ve Pediatri Hemşiresinin Koruyucu Rolü

Dijital sağlık okuryazarlığı yalnızca bilgiye erişim ve değerlendirme becerisiyle sınırlı olmayıp, çevrimiçi ortamda güvenli davranış geliştirmeyi de kapsamaktadır. Uludaşdemir ve Küçük (2021), siber zorbalığın önlenmesinde "dijital ebeveynlik" kavramının önemine dikkat çekerek, pediatri hemşirelerinin ailelere dijital ebeveynlik becerileri konusunda danışmanlık sağlama ve çocukların çevrimiçi risklere karşı korunmasını destekleme sorumluluğu taşıdığını vurgulamıştır (Uludaşdemir & Küçük, 2021). Bu bulgu, pediatri hemşiresinin rolünün yalnızca

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

sağlık bilgisi aktarımıyla sınırlı kalmayıp, çocuğun dijital ortamdaki genel güvenliğini ve iyi oluşunu destekleyen daha geniş bir koruyucu işlevi de kapsadığını göstermektedir.

TARTIŞMA

Bu kapsam belirleme derlemesinin bulguları, pediatri hemşirelerinin çocuk ve ergenlerde dijital sağlık okuryazarlığının geliştirilmesinde çok yönlü ve gelişim dönemine duyarlı bir rol üstlendiğini göstermektedir. Fragoso ve ark.'nın (2026) kapsamlı sentezinde ortaya konduğu üzere, hemşirelik müdahaleleri yaşa göre belirgin biçimde farklılaşmakta; erken çocuklukta somut, oyunsu ve anlatı temelli stratejiler, ergenlik döneminde ise katılımcı, yansıtıcı ve dijital olarak aracılanmış yaklaşımlar tercih edilmektedir (Fragoso et al., 2026). Bu örüntü, çocukların ve ergenlerin bilişsel gelişim düzeylerine ve artan özerklik ihtiyaçlarına duyarlı, gelişimsel açıdan uygun müdahale tasarımının önemine işaret etmektedir.

Okul ortamının müdahalelerin baskın bağlamı olarak öne çıkması, okulların erişilebilirliği, yapılandırılmış ortamı ve müfredata entegrasyon kolaylığıyla açıklanabilir (Fragoso ve ark., 2026). Ancak bu yoğunlaşma, birinci basamak, hastane ve toplum ortamlarındaki fırsatların yeterince değerlendirilmediği anlamına da gelmektedir. Özellikle kronik hastalığı olan çocuklarda (Eling ve ark., 2025) dijital sağlık okuryazarlığı geliştirme çalışmalarının hastane ve klinik ortamlarında daha sistemli biçimde yürütülmesi, hastalık öz-yönetimi eğitimiyle bütünleştirilmesi açısından önemli bir fırsat alanı oluşturmaktadır.

Erken çocukluk dönemine yönelik müdahalelerin belirgin biçimde az sayıda olması (Fragoso ve ark., 2026), alan yazında sıklıkla çocukların bu yaşta sağlıkla ilgili kararlara aktif katılım kapasitesine sahip olmadığı yönündeki örtük varsayımı yansıtıyor olabilir. Oysa erken dönemde kazanılan temel okuryazarlık ve ebeveyn-çocuk etkileşimi, ileriki yaşlardaki sağlık okuryazarlığı gelişiminin temelini oluşturabileceğinden, bu boşluğun doldurulması öncelikli bir araştırma alanı olarak değerlendirilmektedir.

Ölçüm araçlarındaki heterojenlik ve standartlaştırılmış, yaşa özgü değerlendirme araçlarının eksikliği (Fragoso ve ark., 2026; Haney, 2018; Norman ve Skinner, 2006), çalışmalar arası karşılaştırmayı ve kanıt sentezini güçleştiren temel bir metodolojik sorun olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, pediatri hemşireliği alanında dijital sağlık okuryazarlığını değerlendirmek üzere, çocukların gelişim dönemine özgü, geçerliliği ve güvenilirliği test edilmiş araçların geliştirilmesi ve Türkçeye uyarlanması ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Son olarak, Uludaşdemir ve Küçük'ün (2021) vurguladığı gibi, dijital sağlık okuryazarlığı yalnızca bilgiye erişim becerisiyle sınırlı olmayıp, çevrimiçi güvenlik ve dijital ebeveynlik boyutlarını da kapsamaktadır (Uludaşdemir & Küçük, 2021). Bu bulgu, pediatri hemşiresinin rolünün, sağlık bilgisi aktarımının ötesine geçerek, çocuğun dijital ortamdaki genel iyi oluşunu destekleyen bütüncül bir yaklaşımı gerektirdiğini göstermektedir.

Sınırlılıklar

Bu derlemenin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Kapsam belirleme derlemelerinin doğası gereği dâhil edilen çalışmaların metodolojik kalitesi/yanlılık riski sistematik olarak değerlendirilmemiştir; bulgular etkililik kanıtı olarak değil, alanın kapsamını betimleyen bir harita olarak yorumlanmalıdır. Ayrıca alan yazında kullanılan "sağlık okuryazarlığı" ve "dijital/e-sağlık okuryazarlığı" kavramlarının tutarsız biçimde tanımlanması, kavramsal sınırların net çizilmesini güçleştirmektedir. Son olarak, derlemenin İngilizce ve Türkçe kaynaklarla sınırlı tutulması, farklı sağlık sistemi ve eğitim bağlamlarına ait bulguların atlanmış olabileceği anlamına gelmektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Sonuç ve Öneriler

Çocuk ve ergenlerde dijital sağlık okuryazarlığının geliştirilmesi, sağlığın önemli bir belirleyicisi olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Pediatri hemşireleri; okul, birinci basamak, hastane ve toplum ortamlarında yürüttükleri eğitici, danışman ve koruyucu rollerle bu gelişim sürecine önemli katkılar sağlamaktadır. Alan yazında hemşirelik temelli müdahalelerin gelişim dönemine duyarlı biçimde tasarlandığı görülmekle birlikte, erken çocukluk döneminde, birinci basamak ve hastane ortamlarında ve savunmasız gruplarda önemli boşluklar bulunmaktadır.

Bu bulgular ışığında şu öneriler geliştirilebilir:

- Uygulama düzeyinde: Pediatri hemşirelerinin okul dışı ortamlarda (birinci basamak, hastane, toplum) da dijital sağlık okuryazarlığı geliştirme müdahalelerini sistemli biçimde uygulaması ve bu müdahalelerin hastalık öz-yönetimi eğitimiyle bütünleştirilmesi.
- Eğitim düzeyinde: Pediatri hemşireliği lisans/lisansüstü müfredatlarına, çocuğun gelişim dönemine özgü dijital sağlık okuryazarlığı geliştirme stratejilerini ve dijital ebeveynlik danışmanlığı becerilerini kapsayan içeriklerin eklenmesi.
- Araştırma düzeyinde: Erken çocukluk dönemine ve savunmasız gruplara (düşük sosyoekonomik düzey, kırsal alan, etnik azınlık) yönelik müdahalelerin artırılması; çocuklara özgü, geçerliliği ve güvenilirliği test edilmiş dijital sağlık okuryazarlığı ölçeklerinin Türkçeye uyarlanması; uzun dönemli izlem çalışmalarının planlanması.
- Politika düzeyinde: Okul sağlığı hemşireliği programlarının dijital sağlık okuryazarlığı hedeflerini içerecek biçimde güçlendirilmesi ve pediatri hemşirelerinin bu alandaki rolünün ulusal sağlık politikalarında açıkça tanımlanması.

Sonuç olarak, dijital nesil çocuk ve ergenlerin "dijital hasta" olarak sağlık sistemiyle güvenli, bilinçli ve etkin biçimde etkileşime girebilmesi; pediatri hemşirelerinin bu sürece erken yaştan itibaren, gelişim dönemine duyarlı ve kanıta dayalı müdahalelerle eşlik etmesine bağlıdır.

Kaynaklar

Abuhammad, S. (2025). Celebrating five decades of pediatric nursing progress: Achievements, persistent challenges and future directions. *Journal of Pediatric Nursing, 85*, 69–74. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2025.07.007

Arias López, M. del P., Ong, B. A., Borrat Frigola, X., Fernández, A. L., Hicklent, R. S., Obeles, A. J. T., Rocimo, A. M., & Celi, L. A. (2023). Digital literacy as a new determinant of health: A scoping review. *PLOS Digital Health, 2*(10), e0000279. https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000279

Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology, 8*(1), 19–32. https://doi.org/10.1080/1364557032000119616

Çetinkaya, B., Turan, T., Ceylan, S. S., & Bayar Şakın, N. (2017). Determining implementation status of pediatric nurses' roles and functions. *Pamukkale Medical Journal, 10*(2), 152–156. https://doi.org/10.5505/ptd.2017.15579

Eling, C., Rosenberg, A. M., Stinson, J. N., Mehtar, M., Bhawra, J., Chipanshi, M., Sinha, R., & Goodridge, D. (2025). *Identifying Facilitators of and Barriers to Digital Health Literacy in Pediatric Rheumatic Diseases: A Scoping Review Protocol*. https://doi.org/10.1101/2025.09.16.25335907

Fragoso, C., Sousa, M., Loureiro, F., & Charepe, Z. (2026). Nursing Interventions to Promote Health Literacy in Children and Adolescents: A Scoping Review. *Healthcare*, *14*(13), 1829. https://doi.org/10.3390/healthcare14131829

Gomes, A. da S., Santos, G. M. R. dos, Bastos, I. J. M. T., Sales, J. K. D. de, Perrelli, J. G. A., & Frazão, C. M. F. de Q. (2024). Social determinants of health literacy in children and adolescents: a scoping review. *Revista Gaúcha de Enfermagem*, *45*. https://doi.org/10.1590/1983-1447.2024.20240002.en

Haney, M. O. (2018). Psychometric testing of the Turkish version of the Health Literacy for School-Aged Children Scale. *Journal of Child Health Care*, *22*(1), 97–107. https://doi.org/10.1177/1367493517738124

Linney, H., van Someren, K., & Keogh, S. (2026). Digital health literacy of adolescents: A scoping review protocol. *PLOS One*, *21*(5), e0348021. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0348021

Loutfy, A., Elzeiny, A., Foster, M., Alkubati, S. A., Sarman, A., Tuncay, S., Zoromba, M. A., El-Monshed, A. H., Elzieny, A. A., & Magdi, H. M. (2026). Artificial intelligence in pediatric nursing and its education: A systematic review. *Journal of Pediatric Nursing*, *88*, 542–550. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2026.03.027

Mohamed, S. M. M. (2026). Innovations in Pediatric Nursing: Emerging Technologies Including Virtual Reality, Telehealth, Artificial Intelligence, and Digital Mental Health—A Scoping Review. *Sage Open Nursing*, *12*. https://doi.org/10.1177/23779608261433684

Norman, C. D., & Skinner, H. A. (2006). eHealth Literacy: Essential Skills for Consumer Health in a Networked World. *Journal of Medical Internet Research*, *8*(2), e9. https://doi.org/10.2196/jmir.8.2.e9

Park, E., & Kwon, M. (2018). Health-Related Internet Use by Children and Adolescents: Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*, *20*(4), e120. https://doi.org/10.2196/jmir.7731

Sørensen, K., Van den Broucke, S., Fullam, J., Doyle, G., Pelikan, J., Slonska, Z., & Brand, H. (2012). Health literacy and public health: A systematic review and integration of definitions and models. *BMC Public Health*, *12*(1), 80. https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-80

Taskin Guzelyazici, A., & Kiziler, E. (2026). Digital Health Technologies for Parental Education in Neonatal Intensive Care Units: Current Evidence and Implications for Nursing Practice. *Cureus*. https://doi.org/10.7759/cureus.108974

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., … Straus, S. E. (2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Annals of Internal Medicine, 169*(7), 467–473. https://doi.org/10.7326/M18-0850

Uludaşdemir, D., & Küçük, S. (2021). Siber Zorbalığın Önlenmesinde Önemli Bir Kavram: Dijital Ebeveynlik ve Pediatri Hemşireliği. *Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, *4*(3), 54–70. https://doi.org/10.51536/tusbad.988837

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

NESNELERİN TIBBİ İNTERNETİ İLE HEMŞİRELİK BAKIMININ DÖNÜŞÜMÜ: FIRSATLAR, GÜÇLÜKLER VE GELECEK PERSPEKTİFİ

The Transformation of Nursing Care Through the Internet of Medical Things (IoMT): Opportunities, Challenges, and Future Perspectives

Doç. Dr. Hakan AVAN [1]

Afşin School of Health, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş, TURKEY

ORCID ID: 0000-0003-2494-3671

hakanavan@gmail.com

Özet

Giriş: Nesnelerin Tıbbi İnterneti (Internet of Medical Things, IoMT), giyilebilir sensörler, akıllı yataklar, uzaktan hasta izleme sistemleri, asistif robotik teknolojiler ve düşme tespit sistemlerinin internet altyapısı üzerinden birbirine bağlanmasıyla oluşan bir teknoloji ekosistemidir. Yenidoğandan ergenlik dönemine uzanan geniş bir gelişimsel yelpazeyi kapsayan ve bakımın merkezine çocuğu ve aileyi birlikte alan pediatri hemşireliği, bu dönüşümden kendine özgü fırsat ve güçlüklerle karşı karşıya kalmaktadır.

Amaç: Bu derlemenin amacı, "Nesnelerin Tıbbi İnterneti teknolojilerinin hemşirelik bakımındaki kullanım alanları, hemşirelik sonuçlarına katkıları ve uygulamadaki güçlükleri nelerdir?" sorusuna kapsam belirleme derlemesi (scoping review) yaklaşımıyla yanıt aramaktır.

Yöntem: Çalışma, Arksey ve O'Malley'in (2005) beş aşamalı çerçevesi ve PRISMA-ScR raporlama kılavuzu temel alınarak yürütülmüştür. Popülasyon-Kavram-Bağlam (PCC) çerçevesi doğrultusunda yenidoğan yoğun bakım, pediatrik yoğun bakım, pediatri servisleri ve ayaktan/evde pediatrik bakım ortamlarına odaklanan İngilizce ve Türkçe alan yazın; PubMed/PMC, Nature/Pediatric Research, Springer (European Journal of Pediatrics), Wiley, MDPI ve Türkiye Klinikleri gibi kaynaklar üzerinden tematik olarak taranmış ve bulgular anlatısal biçimde sentezlenmiştir.

Bulgular: IoMT teknolojileri pediatri hemşireliği bakımında başlıca; yenidoğan yoğun bakımda kablosuz/temassız vital bulgu izlemi, hastanede yatan çocuklarda giyilebilir biyosensörler, kronik hastalık yönetiminde (tip 1 diyabet, onkoloji) uzaktan izlem ve etkileşimli aile bilgi teknolojileri alanlarında kullanılmaktadır. Bu teknolojiler yenidoğanın cilt bütünlüğünü koruma, kanguru bakımını kolaylaştırma ve aile katılımını güçlendirme potansiyeli taşımakla birlikte; çoğu çalışmanın küçük örneklemli pilot çalışmalar düzeyinde kalması, cihazların çocuğa özgü fizyolojik ve fiziksel farklılıklara göre yeterince doğrulanmamış olması, ebeveyn kaygısını artırma riski ve hemşirelik alarm yükü gibi güçlükler öne çıkmaktadır.

Sonuç: IoMT, pediatri hemşireliği bakımını dönüştürme potansiyeline sahip olmakla birlikte, bu potansiyelin güvenle gerçekleşmesi; çocuğa özgü klinik doğrulama çalışmalarının artırılmasına, aile merkezli tasarım ilkelerine, pediatri hemşirelerinin eğitim süreçlerine dâhil edilmesine ve ebeveyn onam/veri mahremiyeti süreçlerinin güçlendirilmesine bağlıdır.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin Tıbbi İnterneti, pediatri hemşireliği, yenidoğan yoğun bakım, giyilebilir teknoloji, aile merkezli bakım, kapsam belirleme derlemesi

Abstract

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Introduction: The Internet of Medical Things (IoMT) is a technology ecosystem in which wearable sensors, smart beds, remote patient monitoring systems, assistive robotic technologies, and fall detection systems are interconnected through Internet-based infrastructure. Pediatric nursing encompasses a broad developmental spectrum from the neonatal period to adolescence and places the child and family at the center of care. Accordingly, pediatric nursing is encountering unique opportunities and challenges arising from the transformation driven by IoMT technologies.

Aim: This scoping review aimed to answer the following question: "What are the application areas of Internet of Medical Things technologies in pediatric nursing care, their contributions to nursing outcomes, and the challenges associated with their implementation?"

Methods: This scoping review was conducted based on the five-stage framework proposed by Arksey and O'Malley (2005) and the PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) reporting guideline. Guided by the Population–Concept–Context (PCC) framework, the English- and Turkish-language literature focusing on neonatal intensive care units, pediatric intensive care units, pediatric inpatient units, and outpatient/home-based pediatric care settings was thematically searched across PubMed/PMC, Nature/Pediatric Research, Springer (European Journal of Pediatrics), Wiley, MDPI, and Türkiye Klinikleri. The findings were synthesized narratively.

Results: IoMT technologies are primarily used in pediatric nursing care in several areas, including wireless and contactless vital sign monitoring in neonatal intensive care, wearable biosensors for hospitalized children, remote monitoring for chronic disease management (e.g., type 1 diabetes and oncology care), and interactive family information technologies. These technologies have the potential to support neonatal skin integrity, facilitate kangaroo care, and strengthen family involvement in care. However, several challenges have emerged, including the predominance of small-scale pilot studies, insufficient validation of devices according to children's physiological and physical characteristics, the potential to increase parental anxiety, and increased nursing alarm burden.

Conclusion: Although IoMT has considerable potential to transform pediatric nursing care, its safe and effective implementation requires increased pediatric-specific clinical validation, family-centered design principles, integration of IoMT-related competencies into pediatric nursing education, and strengthened processes for parental consent and data privacy. Future research should prioritize adequately powered clinical studies evaluating the safety, accuracy, usability, and clinical effectiveness of IoMT technologies across different pediatric age groups and care settings.

Keywords: Internet of Medical Things, pediatric nursing, neonatal intensive care, wearable technology, family-centered care, scoping review

GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla yaşlanması, kronik hastalık yükünün artması ve pek çok ülkede hemşirelik iş gücünde yaşanan yapısal açık, sağlık sistemlerini bakım sunumunu yeniden düzenlemeye zorlamaktadır. Bu bağlamda Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT) kavramının sağlık alanına uyarlanmış biçimi olan Nesnelerin Tıbbi İnterneti (Internet of Medical Things, IoMT), giyilebilir sensörler, implante edilebilir cihazlar, akıllı yataklar, çevresel sensörler ve asistif robotik sistemlerin kablosuz iletişim protokolleri aracılığıyla birbirine ve merkezi sağlık bilişim sistemlerine bağlanmasını ifade etmektedir. IoMT, algılama (algılayıcı/giyilebilir cihaz), ağ (iletişim) ve uygulama (veri işleme ve karar destek)

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

katmanlarından oluşan bir mimari üzerinde çalışarak hastaya ait fizyolojik verilerin gerçek zamanlı olarak toplanmasını, iletilmesini ve klinik karar süreçlerine entegre edilmesini mümkün kılmaktadır (Huang et al., 2023; Mutua & Jemutai Bitok, 2025; Ozcelik et al., 2025; Wang et al., 2024). Bu teknolojiler sağlık hizmet sunumunun neredeyse tüm alanlarına yayılmakla birlikte, pediatrik popülasyona uygulanmaları kendine özgü bir dikkat gerektirmektedir; çünkü çocuklar "küçük yetişkinler" değildir. Yenidoğandan ergenliğe uzanan geniş bir gelişimsel yelpazede vücut ölçüleri, cilt bütünlüğü, hareketlilik düzeyi ve fizyolojik referans aralıkları sürekli değişmekte, bu da yetişkinler için tasarlanmış cihazların doğrudan çocuklara uygulanmasını sınırlamaktadır (Magsayo & Khatami Firoozabadi, 2025).

Hemşirelik, hastane, evde bakım, uzun süreli bakım kurumları ve toplum sağlığı hizmetleri gibi hemen her bakım ortamında hastayla en sık ve en uzun süreli teması olan meslek grubudur. Bu nedenle IoMT teknolojilerinin klinik ortama girişi, hemşirelik uygulamalarını; hasta izleme, bakım planlama, dokümantasyon, karar verme ve iş yükü yönetimi boyutlarıyla doğrudan etkilemektedir (Al Khatib et al., 2024; Jedwab et al., 2023; Mathkor et al., 2024; S. Naresh et al., 2020). Sürekli vital bulgu izlemi sağlayan giyilebilir cihazlar, aralıklı manuel ölçümlerin gözden kaçırabileceği hızlı fizyolojik değişiklikleri yakalayarak klinik kötüleşmenin erken fark edilmesine katkı sunabilirken; akıllı yatak sistemleri basınç yarası riskini azaltmakta, düşme tespit sistemleri yaşlı ve savunmasız hasta gruplarının güvenliğini desteklemekte, asistif robotik sistemler ise mobilizasyon ve günlük yaşam aktivitelerinde hemşirelik ekibine destek olmaktadır (Huang et al., 2023; Konara Mudiyanselage et al., 2025; Mutua & Jemutai Bitok, 2025; Ohneberg et al., 2023).

Pediatri hemşireliği; yenidoğan yoğun bakım ünitesi (YYBÜ), pediatrik yoğun bakım ünitesi (PYBÜ), pediatri servisleri, ayaktan pediatrik bakım ve evde bakım gibi çok çeşitli ortamlarda, çocuğu ve aileyi bakımın merkezine alan bütüncül bir yaklaşımla uygulanmaktadır. Bu nedenle IoMT teknolojilerinin klinik ortama girişi; yalnızca hastayı değil, ebeveyni/aileyi de doğrudan etkileyen, aile merkezli bakım ilkeleriyle iç içe geçen bir dönüşüm sürecidir (Asan et al., 2017). Özellikle YYBÜ'de, kablolu izlem sistemlerinin yol açtığı cilt hasarı riski, kablo dolaşması ve kanguru bakımı (Kangaroo Care) sırasında yaşanan kısıtlılıklar, ebeveynlerin bebeklerine dokunma konusunda çekingen davranmalarına yol açabilmekte; bu durum kablosuz/temassız izlem teknolojilerine olan ilgiyi artırmaktadır (Senechal et al., 2023).

Diğer yandan, hastanede yatan çocuklarda giyilebilir biyosensörlerin kullanımı, kronik hastalığı olan çocuklarda (örn. tip 1 diyabet, kanser) uzaktan izlem uygulamaları ve ailelere yönelik etkileşimli bilgi teknolojileri de pediatri hemşireliği uygulamalarını hızla dönüştürmektedir (Deeb et al., 2025; Hyun et al., 2025). Bununla birlikte, alan yazında bu teknolojilerin çoğunlukla küçük örneklemli, tek merkezli fizibilite çalışmaları düzeyinde kaldığı, klinik sonuç değişkenleri (mortalite, yeniden yatış, uzun dönem iyileşme) üzerindeki etkisinin henüz yeterince araştırılmadığı vurgulanmaktadır (Zheng et al., 2025).

Alanın hızla gelişmekte olması, kullanılan teknolojilerin çeşitliliği ve pediatrik alt gruplar (yenidoğan, süt çocuğu, okul öncesi, okul çağı, ergen) arasındaki belirgin farklılıklar nedeniyle, bu derlemede müdahale etkililiğinin nicel olarak sentezlendiği bir sistematik derleme yerine, alanın kapsamını ve bilgi boşluklarını haritalamayı amaçlayan bir kapsam belirleme derlemesi (scoping review) yaklaşımı tercih edilmiştir (Campbell et al., 2023; Santos et al., 2025). Bu doğrultuda çalışmanın derleme sorusu şu şekilde belirlenmiştir: "Nesnelerin Tıbbi İnterneti teknolojilerinin pediatri hemşireliği bakımındaki kullanım alanları, hemşirelik sonuçlarına katkıları ve uygulamadaki güçlükleri nelerdir?"

YÖNTEM

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Bu çalışma, kapsam belirleme derlemelerinin metodolojik referans çerçevesi olarak kabul edilen Arksey ve O'Malley'in (2005) beş aşamalı modeli temel alınarak tasarlanmış ve raporlanmasında PRISMA-ScR (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews) kontrol listesi ilkelerinden yararlanılmıştır (Tricco et al., 2018).

2.1. Derleme Sorusunun ve PCC Çerçevesinin Belirlenmesi

Derleme sorusu, kapsam belirleme derlemelerinde yaygın olarak kullanılan Popülasyon–Kavram–Bağlam (Population–Concept–Context, PCC) çerçevesine göre yapılandırılmıştır:

- Popülasyon: Pediatri hemşireleri; yenidoğan, süt çocuğu, okul öncesi/okul çağı çocuklar ve ergenler ile aileleri
- Kavram: IoMT teknolojilerinin kullanım alanları, hemşirelik sonuçlarına katkıları ve uygulamadaki güçlükler
- Bağlam: Yenidoğan yoğun bakım ünitesi, pediatrik yoğun bakım ünitesi, pediatri servisleri, ayaktan pediatrik bakım ve evde çocuk sağlığı bakımı

2.2. Kaynak Tarama Süreci

Konuyla ilgili İngilizce ve Türkçe alan yazın; PubMed/PMC, Nature (Pediatric Research, npj Digital Medicine), Springer (European Journal of Pediatrics), Wiley Online Library, MDPI (Children dergisi) ve Türkçe kaynaklar için Türkiye Klinikleri ve DergiPark platformları üzerinden taranmıştır. Tarama; "pediatric wearable devices", "neonatal intensive care wireless monitoring", "pediatric IoMT nursing", "continuous glucose monitoring children", "pediatric intensive care technology acceptance nurses", "pediatri hemşireliği teknoloji", "yenidoğan yoğun bakım kablosuz izlem" gibi anahtar terim kombinasyonları kullanılarak yürütülmüştür. İçerme ölçütleri; yenidoğan/çocuk/ergen hastalarla ve pediatri hemşireliği uygulamalarıyla doğrudan ilişkili olan, hakemli dergilerde yayımlanmış özgün araştırma, sistematik/kapsam belirleme derlemesi ve güncel derlemeleri kapsamaktadır. Yalnızca yetişkin popülasyonuna odaklanan ve pediatrik bağlama aktarılabilirliği tartışılmayan çalışmalar kapsam dışı bırakılmıştır.

2.3. Verilerin Haritalanması ve Sentezlenmesi

Belirlenen kaynaklardan elde edilen bulgular; (a) IoMT teknolojilerinin pediatri hemşireliği bakımındaki kullanım alanları, (b) hemşirelik sonuçlarına katkıları ve (c) uygulamadaki güçlükler olmak üzere üç ana tema altında anlatı biçiminde haritalanmıştır. Kapsam belirleme derlemelerinin doğası gereği, dâhil edilen çalışmaların metodolojik kalitesi/yanlılık riski ayrı ayrı değerlendirilmemiş; bunun yerine alanın genişliği, kavramsal çeşitliliği ve bilgi boşlukları betimlenmeye çalışılmıştır (Campbell et al., 2023; Santos et al., 2025).

BULGULAR

3.1. IoMT Teknolojilerinin Hemşirelik Bakımındaki Kullanım Alanları

3.1.1. Yenidoğan Yoğun Bakımda Kablosuz ve Temassız Vital Bulgu İzlemi

Standart YYBÜ izlem sistemleri, deriye yapıştırılan ve başucu monitörüne kablolarla bağlanan sensörlere dayanmaktadır; bu durum cilt hasarı, kabloların dolaşması ve kanguru bakımı sırasında bebek-ebeveyn teması için engel oluşturma gibi sorunlara yol açabilmektedir (Senechal et al., 2023). Senechal ve ark.'nın (2023) 2010 sonrası yayımlanan 42 çalışmayı inceledikleri kapsam belirleme derlemesinde, hastanede yatan çocuklarda kablosuz izlem teknolojilerine olan ilginin son yıllarda hızla arttığı, ancak çalışmaların çoğunlukla 50 veya daha az hasta içeren, kısa süreli ve tekli merkezli gözlemsel çalışmalar düzeyinde kaldığı

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

bildirilmiştir (Senechal et al., 2023). Hyun ve ark. (2024), 2010-2024 yılları arasındaki 79 çalışmayı inceledikleri kapsam belirleme derlemesinde, yenidoğan ve çocuk hastalarda kullanılan 104 giyilebilir biyosensörü belirlemiş; bu sensörlerin üçte ikisinin geçerlilik veya güvenilirlik açısından yeterince doğrulanmadığını vurgulamıştır (Hyun et al., 2025).

3.1.2. Hastanede Yatan Çocuklarda Giyilebilir Biyosensörler

Zheng ve ark. (2025), 2014-2025 yılları arasında yayımlanan 36 klinik çalışmayı sentezledikleri derlemede, bilek tipi izleyiciler ve yapışkan biyosensörler aracılığıyla elektrokardiyografi, fotopletismografi ve akselerometre verilerinin toplandığını; yapay zekâ destekli analizlerin postoperatif komplikasyonlar ve sepsis gibi durumların erken tespitinde kısmi katkı sağladığını belirtmiştir. Ancak yazarlar, çoğu çalışmanın küçük ölçekli, tek merkezli fizibilite çalışması niteliğinde olduğunu ve mortalite, yeniden yatış ya da uzun dönem iyileşme gibi sert klinik sonuç ölçütlerinin nadiren değerlendirildiğini vurgulamıştır (Zheng et al., 2025).

3.1.3. Kronik Hastalık Yönetiminde Uzaktan İzlem: Tip 1 Diyabet

Pediatrik tip 1 diyabet yönetiminde sürekli glukoz izlem (CGM) sistemleri ve bunları destekleyen telesağlık uygulamaları, IoMT'nin pediatri hemşireliği/diyabet eğitimi alanındaki en olgunlaşmış uygulama örneklerinden birini oluşturmaktadır. Deeb ve ark.'nın (2025) 105 çocuk ve ergeni kapsayan randomize çapraz geçişli çalışmasında, CGM verilerine dayalı haftalık yoğun telesağlık görüşmelerinin (eğitimli bir diyabet hemşiresi/eğitimcisi tarafından yürütülen 20 dakikalık teletıp görüşmeleri ve yapılandırılmış dijital destek) rutin bakıma kıyasla glisemik kontrolü anlamlı biçimde iyileştirdiği bildirilmiştir (Deeb et al., 2025). Bu bulgu, hemşire/diyabet eğitimcisi liderliğindeki uzaktan izlem modellerinin pediatrik kronik hastalık yönetiminde somut katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

3.1.4. Onkoloji ve Diğer Kronik Durumlarda Giyilebilir İzlem

Collier ve ark. (2025), 0-25 yaş grubundaki pediatrik ve genç yetişkin onkoloji hastalarında giyilebilir cihaz kullanımını inceledikleri kapsam belirleme derlemesinde, 77 çalışmanın çoğunlukla (61 çalışma) giyilebilir cihazları fizyolojik değişiklikleri izlemek amacıyla kullandığını, yalnızca 16 çalışmada giyilebilir cihazın müdahalenin aktif bir bileşeni olarak entegre edildiğini bildirmiştir (Collier et al., 2025). Bu bulgu, pediatrik onkoloji hemşireliğinde giyilebilir teknolojilerin henüz çoğunlukla gözlemsel/izlem amaçlı kullanıldığını, tedavi sürecine aktif müdahale aracı olarak kullanımının sınırlı kaldığını göstermektedir.

3.1.5. Ayaktan Pediatrik Bakımda Mobil IoT Uygulamaları

Xiao ve ark. (2022), mikoplazma pnömonisi tanılı 70 çocuk üzerinde yürüttükleri çalışmada, optimize edilmiş mobil Nesnelerin İnterneti (MIoT) tabanlı konfor hemşireliği modelinin ayaktan sedasyon uygulamalarında standart bakıma kıyasla çocukların psikolojik dayanıklılık (CD-RISC) puanlarını, işbirliği düzeyini ve konfor düzeyini anlamlı biçimde artırdığını; solunum fonksiyon test sonuçlarını da iyileştirdiğini bildirmiştir (Xiao et al., 2022). Bu bulgu, IoMT/MIoT tabanlı hemşirelik modellerinin pediatrik ayaktan işlemlerde çocuğun işlem deneyimini iyileştirme potansiyeline işaret etmektedir.

3.1.6. Aile Merkezli Bakımda Etkileşimli Bilgi Teknolojileri

PYBÜ'de hasta odalarına yerleştirilen büyük etkileşimli ekranlar (Large Customizable Interactive Monitor, LCIM), elektronik sağlık kaydından alınan doğrulanmış bilgileri aileyle paylaşarak aile katılımını güçlendirmeyi amaçlayan bir IoMT/aile-yönelimli teknoloji örneğidir. Asan ve ark. (2017), 55 PYBÜ hemşiresiyle yürüttükleri odak grup çalışmasında, hemşirelerin bu teknolojiye yönelik hem olumlu hem olumsuz algılarının bulunduğunu; mahremiyet, eğitim ihtiyacı ve kullanım alışkanlıklarının öne çıkan temalar arasında yer

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

aldığını bildirmiştir (Asan et al., 2017). Holden ve ark. (2016), 167 PYBÜ hemşiresiyle yürüttükleri anket çalışmasında, aynı teknolojinin algılanan kullanım kolaylığının düşük-orta, kullanışlılık ve eğitim algısının ise düşük düzeyde olduğunu; buna karşın aile katılımına yönelik algılanan kullanışlılığın sistem memnuniyeti ve kullanım niyetiyle güçlü ilişkili olduğunu ortaya koymuştur (Holden et al., 2016).

3.1.7. Yenidoğan ve Çocuk Hemşireliğinde İnovatif Ürün Örnekleri

Türkçe alan yazında Doğan Merih (2023), yenidoğan ve çocuk sağlığı hizmetlerinde bilgi teknoloji sistemleri, programlanmış tıbbi cihazlar, karar destek sistemleri, dijital sağlık hizmetleri ve ağrıyı azaltan inovatif ürünlerin giderek yaygınlaştığını; pediatri hemşirelerinin sağlığın geliştirilmesi, risklerin önlenmesi ve aile merkezli bakımın desteklenmesinde bu inovasyonları hizmet süreçlerine entegre etmesi gerektiğini vurgulamıştır (Doğan Merih; 2023).

3.2. IoMT Teknolojilerinin Hemşirelik Sonuçlarına Katkıları

3.2.1. Klinik Güvenlik ve Erken Tespit

Kablosuz/temassız izlem teknolojileri, özellikle YYBÜ'de sık el ile müdahaleyi (sensör yeniden yerleştirme, kablo düzenleme) azaltarak hem bebeğin rahatsızlığını hem de hemşirelik iş yükünü hafifletme potansiyeli taşımaktadır (Senechal ve ark., 2023). Bununla birlikte, doğruluk ve güvenilirlik konusunda yeterli klinik doğrulamanın henüz sağlanamamış olması, bu teknolojilerin rutin bakıma güvenle entegre edilmesini sınırlamaktadır (Hyun ve ark., 2024).

3.2.2. Aile Katılımı ve Ebeveyn Deneyimi

IoMT temelli aile bilgi teknolojileri ve uzaktan izlem sistemleri, ebeveynlerin çocuklarının sağlık durumuna dair bilgiye daha kolay erişmesini sağlayarak aile merkezli bakımı destekleme potansiyeli taşımaktadır. Deeb ve ark.'nın (2025) çalışmasında CGM verilerine dayalı yapılandırılmış telesağlık desteğinin glisemik kontrolü iyileştirdiği gösterilmiştir (Deeb et al., 2025). Öte yandan Asan ve ark. (2017), hemşirelerin gözleminde bazı ailelerin sürekli erişilebilir verilere (örn. anormal aralık dışı değerlere) aşırı odaklanarak ek kaygı yaşadığını, bu durumun hemşireler üzerinde de ek açıklama yükü oluşturduğunu bildirmiştir (Asan et al., 2017). Bu bulgu, veri paylaşımının aile kaygısını azaltıcı değil, bazı durumlarda artırıcı bir etki de yaratabileceğini göstermektedir.

3.2.3. Hemşire Tutumları ve Teknoloji Kabulü

Holden ve ark. (2016), PYBÜ hemşirelerinin yeni bir aile bilgi teknolojisine yönelik kullanım kolaylığı ve kullanışlılık algılarının düşük-orta düzeyde kaldığını, eğitim ve sosyal etkinin algılanan kullanışlılık üzerinde belirleyici olduğunu göstermiştir (Holden et al., 2016). Bu bulgu, pediatri hemşirelerinin IoMT teknolojilerini benimsemesinde, teknik özelliklerden çok yeterli eğitim ve kurumsal destek sağlanmasının belirleyici olduğuna işaret etmektedir.

3.3. IoMT Uygulamasında Karşılaşılan Güçlükler

3.3.1. Pediatrik Popülasyona Özgü Teknik ve Klinik Doğrulama Sınırlılıkları

Alan yazında tekrarlayan bir bulgu, pediatrik IoMT çalışmalarının büyük çoğunluğunun küçük örneklemli, kısa süreli ve tek merkezli fizibilite çalışmaları düzeyinde kalmasıdır (Hyun ve ark., 2024; Senechal ve ark., 2023; Zheng ve ark., 2025). Yenidoğanların hassas cildi, çocukların gelişim dönemine göre değişen vücut ölçüleri ve hareketlilik düzeyleri, yetişkinler için geliştirilmiş cihazların pediatrik popülasyona doğrudan uyarlanmasını güçleştirmekte; bu durum cihazların doğruluk ve güvenilirliğinin yaş/gelişim dönemine özgü olarak yeniden test edilmesini zorunlu kılmaktadır (Magsayo ve Khatami Firoozabadi, 2025).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3.3.2. Ebeveyn Kaygısı ve Bilgi Yükü

Sürekli ve erişilebilir sağlık verisinin aileyle paylaşılması, bazı ebeveynlerde ek kaygıya ve verinin yanlış yorumlanmasına yol açabilmektedir (Asan ve ark., 2017). Bu durum, IoMT teknolojilerinin aile merkezli bakımı güçlendirici potansiyeli ile birlikte, verinin nasıl, ne zaman ve hangi bağlamda paylaşılacağının dikkatle tasarlanması gerektiğine işaret etmektedir.

3.3.3. Veri Güvenliği, Mahremiyet ve Onam Süreçleri

Çocuklara ait sağlık verilerinin toplanması ve iletilmesi, yetişkin popülasyonuna kıyasla ek etik hassasiyetler taşımaktadır; zira onam/izin süreçleri genellikle ebeveyn veya yasal vasi aracılığıyla yürütülmekte, çocuğun kendi verisi üzerindeki geleceğe yönelik kontrolü sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle IoMT cihazlarının kablosuz iletişim altyapısının güvenliği, veri minimizasyonu ilkesi ve ebeveyn onam süreçlerinin şeffaf biçimde yürütülmesi, pediatrik uygulamalarda özellikle kritik önem taşımaktadır.

3.3.4. Hemşire Eğitimi ve Teknoloji Kabulü

Holden ve ark. (2016) ve Walzer ve ark. (2025), hemşirelerin yeni dijital teknolojileri benimsemesinde yetersiz eğitim, artan iş yükü algısı ve düşük teknolojik özgüvenin önemli engeller oluşturduğunu; buna karşın liderlik desteği ve hedefe yönelik eğitim programlarının kolaylaştırıcı etken olduğunu göstermiştir (Holden et al., 2016; Walzer et al., 2025). Pediatri hemşireliğine özgü olarak, bu eğitimlerin yalnızca cihaz kullanımını değil, aynı zamanda aileyle veri paylaşımı ve ebeveyn kaygısını yönetme becerilerini de kapsaması gerektiği değerlendirilmektedir.

3.3.5. Ekonomik ve Örgütsel Sınırlılıklar

Pediatrik IoMT cihazlarının geliştirilme ve doğrulama maliyeti, yetişkin cihazlarına kıyasla daha küçük bir pazara hizmet ettiği için görece yüksek kalabilmektedir. Bu durum, hastanelerin özellikle YYBÜ ve PYBÜ gibi yüksek maliyetli birimlerde bu teknolojileri sürdürülebilir biçimde ölçeklendirmesini güçleştirmektedir (Jedwab et al., 2023; Zheng et al., 2025).

TARTIŞMA

Bu kapsam belirleme derlemesinin bulguları, IoMT teknolojilerinin pediatri hemşireliği bakımını, yetişkin bakımından farklı dinamiklerle şekillendirdiğini göstermektedir. Yenidoğan yoğun bakımda kablosuz izlem, hastanede yatan çocuklarda giyilebilir biyosensörler ve kronik hastalık yönetiminde uzaktan izlem sistemleri; cilt bütünlüğünü koruma, kanguru bakımını kolaylaştırma, glisemik kontrolü iyileştirme ve aile katılımını güçlendirme gibi somut faydalar sunma potansiyeli taşımaktadır (Deeb ve ark., 2025; Senechal ve ark., 2023).

Bununla birlikte, bulgular pediatrik IoMT alan yazınının hâlâ erken bir olgunluk düzeyinde olduğuna işaret etmektedir. Hyun ve ark. (2024) ve Zheng ve ark. (2025) tarafından tutarlı biçimde vurgulandığı üzere, mevcut çalışmaların büyük kısmı küçük örneklemli, tek merkezli ve kısa süreli fizibilite/doğruluk çalışmalarıdır; mortalite, yeniden yatış veya uzun dönem gelişimsel sonuçlar gibi "sert" klinik sonuç ölçütlerini değerlendiren çalışmalar sınırlıdır (Hyun et al., 2025; Zheng et al., 2025). Bu durum, pediatri hemşireliği uygulamalarına IoMT entegrasyonu konusunda temkinli bir iyimserlikle yaklaşılması gerektiğini düşündürmektedir.

Aile merkezli bakım ilkesi, pediatrik IoMT'nin hem en güçlü hem de en kırılgan yönünü oluşturmaktadır. Asan ve ark. (2017) ve Holden ve ark. (2016), etkileşimli aile bilgi teknolojilerinin aile katılımını güçlendirme potansiyeli taşırken, aynı zamanda ebeveyn kaygısını artırabildiğini ve hemşireler üzerinde ek açıklama/danışmanlık yükü oluşturabildiğini göstermiştir (Asan et al., 2017). Bu bulgu, IoMT sistemlerinin yalnızca teknik doğrulukla değil,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

verinin aileyle hangi bağlamda ve nasıl paylaşılacağına ilişkin iletişim tasarımıyla da değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Son olarak, pediatri hemşirelerinin bu teknolojileri benimsemesi, genel hemşirelik teknoloji kabulü alan yazınıyla örtüşen biçimde, eğitim, liderlik desteği ve iş akışına uyum gibi etkenlere bağlı görünmektedir (Walzer ve ark., 2025). Ancak pediatrik bağlamda bu eğitimlerin, çocuğun gelişim dönemine özgü fizyolojik farklılıkları ve aile iletişimi becerilerini de kapsayacak şekilde genişletilmesi gerekmektedir.

4.1. Sınırlılıklar

Bu derlemenin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Kapsam belirleme derlemelerinin doğası gereği dâhil edilen çalışmaların metodolojik kalitesi/yanlılık riski sistematik olarak değerlendirilmemiştir; bulgular etkililik kanıtı olarak değil, alanın kapsamını betimleyen bir harita olarak yorumlanmalıdır. Ayrıca pediatrik IoMT alan yazını hızla gelişmekte olup, incelenen kaynakların bir kısmı yakın tarihli, tek merkezli ve küçük örneklemli çalışmalardır; bu durum bulguların genellenebilirliğini sınırlamaktadır. Son olarak, derlemenin İngilizce ve Türkçe kaynaklarla sınırlı tutulması, farklı sağlık sistemi bağlamlarına ait bulguların atlanmış olabileceği anlamına gelmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Nesnelerin Tıbbi İnterneti, yenidoğan yoğun bakımdan ayaktan pediatrik bakıma uzanan geniş bir yelpazede pediatri hemşireliği bakımını dönüştürme potansiyeli taşımaktadır. Kablosuz vital bulgu izlemi, giyilebilir biyosensörler, uzaktan glukoz izlemi ve etkileşimli aile bilgi teknolojileri; klinik güvenliği destekleme, aile katılımını güçlendirme ve çocuğun işlem deneyimini iyileştirme açısından umut verici bulgular sunmaktadır. Ancak bu teknolojilerin çoğunun henüz erken klinik doğrulama aşamasında olması, ebeveyn kaygısını artırma riski ve hemşire eğitimi ihtiyacı, çözülmesi gereken güçlükler olarak durmaktadır.

Bu bulgular ışığında şu öneriler geliştirilebilir:

- Uygulama düzeyinde: Pediatrik IoMT cihazlarının klinik ortama entegrasyonunda pediatri hemşirelerinin ve ailelerin tasarım sürecine erken aşamada dâhil edilmesi.
- Eğitim düzeyinde: Pediatri hemşireliği lisans/lisansüstü müfredatlarına, cihaz kullanımının yanı sıra ailelerle veri paylaşımı ve ebeveyn kaygısını yönetme becerilerini de kapsayan içeriklerin eklenmesi.
- Araştırma düzeyinde: Yenidoğandan ergenliğe farklı gelişim dönemlerini ayrı ayrı ele alan, daha büyük örneklemli, çok merkezli ve uzun dönem klinik sonuçları (mortalite, yeniden yatış, gelişimsel sonuçlar) değerlendiren çalışmaların planlanması.
- Politika düzeyinde: Çocuklara ait sağlık verilerinin toplanması ve paylaşılmasında ebeveyn onam süreçlerini ve veri mahremiyetini güvence altına alan düzenleyici çerçevelerin güçlendirilmesi.

Sonuç olarak, IoMT'nin pediatri hemşireliği bakımına sunduğu fırsatların güvenle ve sürdürülebilir biçimde hayata geçirilmesi; teknolojik gelişimin, çocuğun gelişimsel özellikleri, aile merkezli bakım ilkeleri ve pediatri hemşireliğinin klinik deneyimiyle birlikte ele alınmasına bağlıdır.

Kaynaklar

Al Khatib, I., Shamayleh, A., & Ndiaye, M. (2024). Healthcare and the Internet of Medical Things: Applications, Trends, Key Challenges, and Proposed Resolutions. *Informatics*, *11*(3), 47. https://doi.org/10.3390/informatics11030047

Asan, O., Flynn, K. E., Azam, L., & Scanlon, M. C. (2017). Nurses' Perceptions of a Novel Health Information Technology: A Qualitative Study in the Pediatric Intensive Care Unit. *International Journal of Human–Computer Interaction*, *33*(4), 258–264. https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1279828

Campbell, F., Tricco, A. C., Munn, Z., Pollock, D., Saran, A., Sutton, A., White, H., & Khalil, H. (2023). Mapping reviews, scoping reviews, and evidence and gap maps (EGMs): the same but different— the "Big Picture" review family. *Systematic Reviews, 12*(1), 45. https://doi.org/10.1186/s13643-023-02178-5

Collier, L., Grimshaw, S. L., Stolper, J., Passmore, E., Ball, G., Elliott, D. A., & Conyers, R. (2025). Scoping review of the utilization of wearable devices in pediatric and young adult oncology. *Npj Digital Medicine*, *8*(1), 488. https://doi.org/10.1038/s41746-025-01842-5

Deeb, A., Eldeeb, L., Suliman, S., Chaturvedi, D., Tomy, M., Alkahlout, G., Beck, R. H., & Qahtani, N. Al. (2025). Effect of an Intensive, Integrated Telehealth Intervention on Glycemic Control in Children and Adolescents With Type 1 Diabetes Using Continuous Glucose Monitoring: A Randomized, Crossover Trial. *Pediatric Diabetes*, *2025*(1). https://doi.org/10.1155/pedi/7261998

Doğan Merih, Y. (2023). Yenidoğan ve çocuk hemşireliğinde inovasyon ve inovatif ürün örnekleri. İçinde H. Pek (Ed.), Yenidoğan ve Çocuk Hemşireliğinde Yenilikçi Yaklaşımlar (1. Baskı, ss. 15–23). Türkiye Klinikleri.

Holden, R. J., Asan, O., Wozniak, E. M., Flynn, K. E., & Scanlon, M. C. (2016). Nurses' perceptions, acceptance, and use of a novel in-room pediatric ICU technology: testing an expanded technology acceptance model. *BMC Medical Informatics and Decision Making, 16*(1), 145. https://doi.org/10.1186/s12911-016-0388-y

Huang, C., Wang, J., Wang, S., & Zhang, Y. (2023). Internet of medical things: A systematic review. *Neurocomputing*, *557*, 126719. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.126719

Hyun, A., Takashima, M., Hall, S., Lee, L., Dufficy, M., Ruppel, H., & Ullman, A. (2025). Wearable biosensors for pediatric hospitals: a scoping review. *Pediatric Research*, *98*(1), 90–99. https://doi.org/10.1038/s41390-024-03693-4

Jedwab, R. M., Manias, E., Redley, B., Dobroff, N., & Hutchinson, A. M. (2023). Impacts of technology implementation on nurses' work motivation, engagement, satisfaction and well-being: A realist review. *Journal of Clinical Nursing*, *32*(17–18), 6037–6060. https://doi.org/10.1111/jocn.16730

Konara Mudiyanselage, S. P., Yao, C. T., Maithreepala, S. D., & Lee, B. O. (2025). Emerging Digital Technologies Used for Fall Detection in Older Adults in Aged Care: A Scoping

Review. *Journal of the American Medical Directors Association*, *26*(1), 105330. https://doi.org/10.1016/j.jamda.2024.105330

Magsayo, K.-A., & Khatami Firoozabadi, S. F. (2025). Non-Invasive Wearables in Pediatric Healthcare: A Comprehensive Review of Uses and Implications. *Children*, *12*(9), 1233. https://doi.org/10.3390/children12091233

Mathkor, D. M., Mathkor, N., Bassfar, Z., Bantun, F., Slama, P., Ahmad, F., & Haque, S. (2024). Multirole of the internet of medical things (IoMT) in biomedical systems for managing smart healthcare systems: An overview of current and future innovative trends. *Journal of Infection and Public Health*, *17*(4), 559–572. https://doi.org/10.1016/j.jiph.2024.01.013

Mutua, J. M., & Jemutai Bitok, H. (2025). The Internet of Medical Things (IoMT): A Comprehensive Review of architecture, Enabling Technologies, Security Challenges, and Future Perspectives. *Engineering and Technology Journal*, *10*(08). https://doi.org/10.47191/etj/v10i08.26

Ohneberg, C., Stöbich, N., Warmbein, A., Rathgeber, I., Mehler-Klamt, A. C., Fischer, U., & Eberl, I. (2023). Assistive robotic systems in nursing care: a scoping review. *BMC Nursing*, *22*(1), 72. https://doi.org/10.1186/s12912-023-01230-y

Ozcelik, M. M., Kok, I., & Ozdemir, S. (2025). A Survey on Internet of Medical Things (<scp>IoMT</scp>): Enabling Technologies, Security and Explainability Issues, Challenges, and Future Directions. *Expert Systems*, *42*(5). https://doi.org/10.1111/exsy.70010

S. Naresh, V., S. Pericherla, S., Sita Rama Murty, P., & Reddi, S. (2020). Internet of Things in Healthcare: Architecture, Applications, Challenges, and Solutions. *Computer Systems Science and Engineering*, *35*(6), 411–421. https://doi.org/10.32604/csse.2020.35.411

Santos, A. R., Sampaio, F., Londral, A. R., & Perelman, J. (2025). Mapping methodologies for economic assessment of digital health technologies: a scoping review protocol. *BMJ Open*, *15*(7), e099933. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2025-099933

Senechal, E., Jeanne, E., Tao, L., Kearney, R., Shalish, W., & Sant'Anna, G. (2023). Wireless monitoring devices in hospitalized children: a scoping review. *European Journal of Pediatrics*, *182*(5), 1991–2003. https://doi.org/10.1007/s00431-023-04881-w

Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., … Straus, S. E. (2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Annals of Internal Medicine*, *169*(7), 467–473. https://doi.org/10.7326/M18-0850

Walzer, S., Armbruster, C., Mahler, S., Farin-Glattacker, E., & Kunze, C. (2025). Factors Influencing the Implementation and Adoption of Digital Nursing Technologies: Systematic Umbrella Review. *Journal of Medical Internet Research*, *27*, e64616. https://doi.org/10.2196/64616

Wang, B., Shi, X., Han, X., & Xiao, G. (2024). The digital transformation of nursing practice: an analysis of advanced IoT technologies and smart nursing systems. *Frontiers in Medicine*, *11*. https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1471527

Xiao, Q., Wu, B., Wu, W., & Wang, R. (2022). Adoption and Safety Evaluation of Comfortable Nursing by Mobile Internet of Things in Pediatric Outpatient Sedation. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, *2022*, 1–9. https://doi.org/10.1155/2022/3257101

Zheng, H., Sharma, P., Johnson, M., Danieletto, M., Alleva, E., Charney, A. W., Nadkarni, G. N., Sarabu, C., Eskofier, B. M., Ahuja, Y., Richter, F., Klang, E., Gangadharan, S., Richter, F., Holmes, E., & Glicksberg, B. S. (2025). Integration of Artificial Intelligence and Wearable Devices in Pediatric Clinical Care: A Review. *Bioengineering*, *12*(12), 1320. https://doi.org/10.3390/bioengineering12121320

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

USE OF MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS AS NATURAL PRESERVATIVES IN MEAT AND MEAT PRODUCTS: A REVIEW ON ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL EFFICACY

Dr. Ali Murat KESEMEN
Artvin Çoruh University, Artvin Vocational School,
alimuratkesemen@artvin.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-7413-4851

ABSTRACT

Meat and meat products are highly susceptible to microbial spoilage and lipid oxidation due to their high water activity and rich nutrient content. The possible health risks associated with synthetic preservatives (nitrite, nitrate, sulfite, sodium benzoate, potassium sorbate) traditionally used to control this spoilage have created strong consumer demand for natural and "clean-label" products. This review systematically compiles information on the bioactive components and extraction methods of medicinal and aromatic plants used as natural preservatives in meat and meat products, their antimicrobial and antioxidant mechanisms of action, prominent plant/spice examples (rosemary, clove, thyme, etc.), complementary natural preservative sources such as seaweed and bioactive peptides, nanotechnology-based formulations, active packaging applications, and the relevant regulatory framework. The reviewed studies show that phenolic compounds, terpenoids, and volatile oil components exert antimicrobial effects by disrupting cell membrane integrity and antioxidant effects by scavenging free radicals, with rosemary, clove, thyme, and oregano representing the plants with the strongest scientific evidence in this field. However, the efficacy of plant extracts generally decreases when transferred from laboratory conditions to the food matrix, making combination strategies, nanoencapsulation, and active packaging increasingly important approaches. Complexity in regulatory frameworks and the gap between consumer expectations and actual industry practices are considered the main factors limiting commercialization in this field. Overall, medicinal and aromatic plants constitute a versatile group of natural resources that, from a food engineering perspective, can support quality and safety at different stages of the meat product production chain.

Keywords: Medicinal and aromatic plants, meat products, natural preservative, antioxidant, antimicrobial, essential oil

ET VE ET ÜRÜNLERİNDE DOĞAL KORUYUCU OLARAK TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERİN KULLANIMI: ANTİOKSİDAN VE ANTİMİKROBİYAL ETKİNLİK ÜZERİNE BİR DERLEME

ÖZET

Et ve et ürünleri, yüksek su aktivitesi ve zengin besin içerikleri nedeniyle mikrobiyal bozulmaya ve lipid oksidasyonuna oldukça duyarlı gıdalardır. Bu bozulmayı önlemek amacıyla uzun

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

süredir kullanılan sentetik koruyucuların (nitrit, nitrat, sülfit, sodyum benzoat, potasyum sorbat) olası sağlık riskleri, tüketicilerde doğal ve "temiz etiket" ürünlere yönelik güçlü bir talep oluşturmuştur. Bu derlemede, et ve et ürünlerinde doğal koruyucu olarak kullanılan tıbbi ve aromatik bitkilerin biyoaktif bileşenleri, ekstraksiyon yöntemleri, antimikrobiyal ve antioksidan etki mekanizmaları, öne çıkan bitki/baharat örnekleri (biberiye, karanfil, kekik vb.), deniz yosunu ve biyoaktif peptid gibi tamamlayıcı doğal koruyucu kaynakları, nanoteknoloji tabanlı formülasyonlar, aktif ambalajlama uygulamaları ile konuya ilişkin düzenleyici çerçeve sistematik biçimde bir araya getirilmiştir. İncelenen kaynaklar, fenolik bileşikler, terpenoidler ve uçucu yağ bileşenlerinin hücre zarı bütünlüğünü bozarak antimikrobiyal, serbest radikalleri süpürerek antioksidan etki gösterdiğini; biberiye, karanfil, kekik ve oreganonun bu alanda en güçlü bilimsel kanıta sahip bitkiler olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bitki ekstraktlarının etkinliğinin laboratuvar koşullarından gıda matrisine geçişte genellikle azaldığı, bu nedenle kombinasyon stratejileri, nanoenkapsülasyon ve aktif ambalajlama gibi yaklaşımların önem kazandığı belirlenmiştir. Düzenleyici mevzuattaki karmaşıklığın ve tüketici beklentisi ile sektörün fiili uygulamaları arasındaki boşluğun, bu alandaki ticarileşmeyi sınırlayan başlıca etmenler olduğu değerlendirilmektedir. Sonuç olarak tıbbi ve aromatik bitkiler, gıda mühendisliği açısından et ürünleri üretim zincirinin farklı aşamalarında kaliteyi ve güvenliği destekleyecek çok yönlü bir doğal kaynak grubu oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tıbbi ve aromatik bitkiler, et ürünleri, doğal koruyucu, antioksidan, antimikrobiyal, esansiyel yağ

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

1. INTRODUCTION

Meat and meat products are foods that are highly susceptible to microbial spoilage and lipid oxidation owing to their high water activity, neutral pH and rich nutrient content (Efenberger-Szmechtyk et al., 2021). To control these spoilage processes, synthetic preservatives such as nitrite, nitrate, sulfite, sodium benzoate and potassium sorbate have long been widely used in the food industry (Shi et al., 2024). However, findings that some of these compounds may lead to the formation of carcinogenic N-nitrosamines and have been associated with obesity, asthma and cardiovascular diseases have increased consumer distrust of synthetic additives and strengthened the demand for "clean-label" products (Shi et al., 2024; Antony and Narayanaswamy, 2026). Indeed, a study examining the labels of animal-based foods in Brazil reported that additives were used largely for flavor and appearance purposes, whereas their use for preservation remained relatively secondary, indicating a mismatch between consumer perception and actual industry practice (Souza et al., 2025).

In this context, medicinal and aromatic plants stand out as a natural alternative to synthetic preservatives, exhibiting both antimicrobial and antioxidant activity by virtue of the phenolic compounds, terpenoids and volatile oil components they contain (Bouarab Chibane et al., 2019; Beya et al., 2021). Plant extracts offer advantages such as providing a similar preservative effect at lower usage levels than raw vegetable powders or gels, having less impact on the sensory properties of the product, and reducing transport and storage costs (Awad et al., 2022). The rapid growth of the global functional food market and the increasing interest in plant-based ingredients have led to a continuous expansion of scientific and industrial research in this field (Chua and Daniel, 2023).

The aim of this review is to bring together, from a systematic and comparative perspective, the bioactive components of medicinal and aromatic plants used as natural preservatives in meat and meat products, their extraction methods, their antimicrobial and antioxidant mechanisms of action, prominent plant/spice examples, complementary natural preservative systems (seaweed, bioactive peptides), nanotechnology and active packaging applications, and the relevant regulatory framework.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Spoilage in Meat Products, Concerns Regarding Synthetic Additives and Bioactive Components of Medicinal/Aromatic Plants

The main spoilage factors in meat products are the proliferation of spoilage microorganisms, lipid and protein oxidation, and enzymatic reactions (Papadochristopoulos et al., 2021; Yu et al., 2021). Although synthetic preservatives offer low cost and strong antibacterial efficacy, a considerable proportion of consumers regard synthetic additives as a more critical source of concern than even foodborne illnesses (Awad et al., 2022). Nitrite and nitrate have been shown to be effective in preserving meat color and microbial safety; however, they can react with amino compounds and lead to the formation of carcinogenic N-nitrosamines (Efenberger-Szmechtyk et al., 2021). Similarly, it has been reported that sulfites may cause asthma-like

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

respiratory reactions, while sodium benzoate and potassium sorbate may pose various health risks at high doses (Shi et al., 2024).

It has been emphasized that nitrites play a multifunctional role in meat products, including color fixation, flavor development and ensuring microbial safety, particularly against *Clostridium botulinum*; however, they can react with amine compounds, giving rise to carcinogenic N-nitroso compounds and methemoglobinemia (Tocai et al., 2025). This dual nature has increased interest in natural alternatives capable of partially or fully taking over the functions of nitrite; indeed, compounds such as eugenol, isoeugenol, D-borneol, citronellol, menthol and rosmarinic acid obtained from sage (*Salvia officinalis*), rosemary (*Salvia rosmarinus*) and clove (*Syzygium aromaticum*) have been shown to exhibit antibotulinal properties (Tocai et al., 2025). A study examining the effect of inorganic additives (phosphates, nitrites, sulfites) on the quality of processed meat products stated that, although these compounds extend shelf life, they conflict with the current trend towards reducing sodium chloride levels, and that the direct application of essential oils and plant extracts to meat via nano-systems therefore provides antioxidant effects and improved quality attributes (Dissanayake et al., 2024). All these developments are steering the food industry towards natural alternatives that are comparable in efficacy to synthetic preservatives but are perceived as safer (Antony and Narayanaswamy, 2026).

The preservative efficacy of medicinal and aromatic plants, which lie at the focus of this search, stems mainly from secondary metabolites such as flavonoids, phenolic acids, tannins, terpenoids, alkaloids and volatile oil components (Santos-Sánchez et al., 2017; Fonmboh et al., 2020). The yield and composition of these compounds are influenced by numerous factors, including plant species, the plant part used (bark, leaf, root, rhizome), climatic conditions, harvest period, particle size and drying temperature (Awad et al., 2022). Solvent selection plays a decisive role in extraction: ethanol/water mixtures are preferred for polar compounds and organic solvents for non-polar compounds, and the solvent is expected to be non-toxic, inexpensive and recoverable, and to leave minimal residue (Awad et al., 2022). It has been reported that, in addition to conventional Soxhlet extraction, maceration and hydrodistillation, green technologies such as supercritical fluid extraction and ultrasound- and microwave-assisted extraction increase compound yield while reducing solvent consumption and processing time (Fonmboh et al., 2020). Ahmadi et al. (2024) emphasized that phytochemical characterization, innovative extraction technology and safety assessment should be addressed together in the development of plant-based natural preservatives; otherwise, extracts found to be effective at laboratory scale may fail to deliver the expected results in industrial applications.

It has been reported that nano-delivery systems such as nanoencapsulation, nanoemulsions, nanoliposomes and solid lipid nanoparticles are increasingly used in animal-based functional foods (milk, eggs, meat) to improve the stability, solubility and targeted release of the extracts obtained (Almuraee, 2026). These systems have been shown to enhance bioavailability by alleviating problems such as limited solubility, instability and flavor alteration that plant compounds encounter during processing and storage (Almuraee, 2026); therefore, whether the compounds obtained at the extraction stage remain effective in the final product depends largely on the correct choice of such carrier systems.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

2.2. Antimicrobial and Antioxidant Mechanisms of Action

The antimicrobial effect of plant extracts occurs through mechanisms involving disruption of cell membrane permeability, leakage of the cytoplasm, and inhibition of intracellular enzymes and protein synthesis, ultimately resulting in cell death (Bouarab Chibane et al., 2019; Efenberger-Szmechtyk et al., 2021). Volatile oil components such as thymol, carvacrol, eugenol and cinnamaldehyde have been reported to possess a broad antimicrobial spectrum, particularly against Gram-positive bacteria (Awad et al., 2022). Papadochristopoulos et al. (2021) reviewed the efficacy of various plant extract and essential oil treatments against pathogens such as *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp. and *E. coli* in meat products, reporting that bay leaf oil (0.5%) reduced *L. monocytogenes* counts in ground chicken by 0.07-0.36 log CFU/g and thyme extract (0.3-0.5%) reduced *Salmonella* spp. counts in chicken meat by 2.7-3.8 log CFU/g, while garlic extract (2-8%) against *E. coli* and nutmeg extract applied together with sage seed mucilage against *Salmonella* Choleraesuis achieved reductions of 2.5-8 log CFU/g.

Cheng et al. (2024) emphasized that plant-derived antimicrobials can be regarded as a new line of protective technology against bacterial pathogens in meat products, but that their efficacy generally decreases in the food matrix compared with in vitro conditions, so that higher concentrations or combination strategies may be required. Similarly, Wen et al. (2024) reported that combining tea polyphenols, spices and essential oils with nanoemulsion carrier systems helps to overcome the drawbacks of essential oils, such as high volatility and low water solubility. In an alternative approach based on the activation of aromatic plants through fermentation, solid-state fermentation of winter savory (*Satureja montana* L.) with lactic acid bacteria producing bacteriocin-like inhibitory substances (BLIS) was found to reduce the growth of mesophilic bacteria in minced pork by up to 34% over 120 hours of storage and to significantly lower biogenic amine accumulation compared with the control sample (Bartkiene et al., 2015). A PRISMA-based systematic review focusing on the use of essential oils in the sausage industry concluded that most of the 32 studies examined showed that the addition of essential oils enhanced not only the preservative effect but also the sensory properties and functionality of the product, and that aromatic plant oils should therefore be regarded as multifunctional agents in sausage production (Enríquez et al., 2024).

In addition to their antimicrobial activity, the same plant compounds often also perform an antioxidant function; this dual action makes medicinal and aromatic plants more versatile than single-function synthetic additives. The antioxidant activity of plant extracts is exerted through the scavenging of free radicals, the chelation of metal ions and the interruption of the lipid oxidation chain reaction (Franco et al., 2019). Ullah et al. (2022) reported that natural polyphenols can be classified as both antioxidant and antimicrobial agents in the preservation of meat and dairy products, and that these compounds delay lipid oxidation, thereby lowering TBARS (thiobarbituric acid reactive substances) values and improving color stability. Šojić et al. (2023) emphasized that terpenoid-rich extracts and essential oils are effective as antioxidant and antimicrobial agents in both fresh and processed meat products, and that their status as "generally recognized as safe" (GRAS) increases consumer acceptance. Blueberry, grape seed and green tea extracts have been reported to be used as antioxidant/antimicrobial agents in meat

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

products; grape seed is rich in oligomeric/tetrameric procyanidins and green tea in epigallocatechin gallate, and these extracts completely inhibited the growth of *Aeromonas hydrophila*, *Bacillus cereus* and *Enterobacter* species in the agar diffusion assay (Aziz and Karboune, 2018).

2.3. Prominent Plant and Spice Species and Marine-Derived Natural Preservatives

The mechanisms summarized above have been concretely documented for several of the plant and spice species most frequently studied in the literature. Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) is one of the most widely used sources of natural antioxidants in meat products owing to components such as carnosic acid, carnosol, rosmarinic acid and ursolic acid (Kaur et al., 2023). It has been reported that, in the European Union, rosemary extract is permitted in foods and beverages at up to 400 mg/kg expressed as the sum of carnosol and carnosic acid, and that commercial extracts (such as VivOX 20 and VivOX 4) with different carnosic acid concentrations are available on the market (Kaur et al., 2023). Rosmarinic acid and carnosic acid have been shown to reduce the formation of heterocyclic amines (MeIQx, PhIP), which are Maillard reaction products with mutagenic/carcinogenic properties, by up to 64%, while also suppressing microbial growth in vacuum-packaged chilled meat (Kaur et al., 2023).

Similarly to rosemary, eugenol, the main component of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil, has been noted to be a potent DPPH radical scavenger, with a single eugenol molecule being capable of reducing two or more DPPH radicals (Valarezo et al., 2025). A systematic review conducted according to the PRISMA 2020 methodology and covering 43 studies published between 1999 and 2024 concluded that clove essential oil improves oxidative stability and color retention and reduces TBARS values in meat products, and that the addition of 0.25% (v/w) clove essential oil lowers the rate of discoloration (Valarezo et al., 2025). Awad et al. (2022) reported that numerous plant/spice extracts, including cinnamon bark, licorice, thyme leaf, ginger rhizome, sage, wild thyme (*Thymus serpyllum*) and *Moringa oleifera*, are used for antioxidant/antimicrobial purposes in meat products; that rosemary essential oil increased sensory scores and redness (a*) values in mortadella; and that a combination of rosemary, grape seed and green tea extracts controlled oxidation and microbial load in sausages while preserving moisture content. In a study in which immature seed extract of *Citrullus colocynthis* (colocynth) was tested against foodborne mycotoxigenic mold contaminants, the extract was reported to exhibit antifungal activity and to limit mycotoxin production; this finding indicates that extracts derived from medicinal plants may have protective potential against fungal as well as bacterial contamination (Mussi et al., 2021).

Thyme (*Thymus vulgaris*), rosemary, sage (*Salvia officinalis*), oregano and lemon balm (*Melissa officinalis*) of the Lamiaceae family have been reported to be among the aromatic plants most frequently studied in meat products (Söbeli, 2021). It has been reported that carvacrol and thymol, the main components of thyme essential oil, possess antiseptic, antioxidant and antimicrobial properties; that the application of thyme essential oil at 0.6% exhibited an inhibitory effect against *E. coli* O157:H7 in minced beef stored at 10°C; and that discoloration, lipid oxidation and bacterial counts were delayed in meat from lambs fed a thyme-containing diet (Söbeli, 2021). Sage used at 0.05-0.15% (w/w) in Chinese-style sausage

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

was stated to improve oxidative stability without adversely affecting sensory properties, whereas in chicken meat its water/ethanol extracts and essential oil significantly limited the growth of mesophilic aerobic bacteria, psychrotrophic bacteria, coliforms and Enterobacteriaceae, with the strongest inhibition observed for the essential oil form (Söbeli, 2021). Oregano and sage essential oils (3% w/w) were shown to significantly reduce oxidation in minced pork and beef samples, while lemon balm extract at 1.0% markedly delayed lipid oxidation in hamburger patties and had a positive sensory effect (Söbeli, 2021).

Epigallocatechin gallate, the main polyphenolic component of green tea (*Camellia sinensis*), is used in the preservation of meat products owing to its strong antioxidant capacity; it has been reported that ethanolic green tea extract significantly inhibited the spoilage microflora of fresh mutton, and that marinating pan-fried beef with green tea significantly reduced the levels of heterocyclic aromatic amines (PhIP and AαC) (Söbeli, 2021). Incorporating green tea extract into polyethylene packaging material by extrusion technology extended the shelf life of fresh meat by 3 days compared with the control, and the addition of 200 mg/kg green tea catechins to sausages containing fish oil significantly reduced lipid oxidation at the end of 7 days of storage (Söbeli, 2021). These findings reveal that Lamiaceae plants and green tea have versatile preservative potential in meat products, both when incorporated directly into formulations and when used as active packaging components. In addition to terrestrial plants, marine organisms also offer a similar preservative potential: seaweed-derived polysaccharides (alginate, carrageenan, fucoidan) and phenolic compounds (phlorotannins) have been reported to be regarded as alternative natural preservatives that are compatible with sustainable production goals and exhibit antioxidant and antimicrobial activity in meat products (Teixeira et al., 2025). It has been emphasized that seaweed-based preservatives can be used both by direct incorporation into product formulations and as active components in packaging design, and that these applications extend the shelf life of meat products and contribute to circular/sustainable food production goals (Teixeira et al., 2025). A review on the use of natural preservatives in seafood stated that new-generation natural preservatives of plant, bacterial, fungal, animal and algal origin are effective in maintaining the quality and extending the shelf life of fish and seafood, and that early application of these preservatives is important because odor, flavor and texture changes develop more rapidly in seafood than in meat products (Gokoglu, 2019).

2.4. Bioactive Peptides, Nanotechnology-Based Formulations and Active Packaging Applications

In addition to plant-derived compounds, protein-derived components are also among the preservative systems for meat products. Bioactive peptides and protein hydrolysates obtained by enzymatic hydrolysis from meat and meat products or other protein sources have been reported to exhibit antioxidant and antimicrobial properties, and these compounds, used alone or in combination with edible films, effectively inhibit lipid oxidation and microbial growth in meat products (González-Osuna et al., 2024). It has been predicted that these peptides can provide a preservative effect similar to that of synthetic preservatives without adversely affecting product quality and sensory properties, and that their future combined use with plant extracts may give rise to synergistic effects (González-Osuna et al., 2024).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

The ability of both plant extracts and bioactive peptides to exert a lasting effect in the meat matrix often depends on a suitable carrier or packaging system. The development of functional biodegradable packaging materials enables plant extracts and essential oils to be integrated into the packaging matrix in order to preserve the quality and safety of meat products (Wongphan et al., 2024). It has been emphasized that composite polymers incorporating essential oils and natural extracts improve the compatibility between polymer-polymer matrices, while the migration of substances from packaging to food or from food to packaging (flavor/odor contamination) must also be evaluated from a safety perspective (Wongphan et al., 2024). Studies reviewed by Wen et al. (2024) reported that a composite film coated with thyme essential oil extended the shelf life of chicken breast from 7 to 21 days, that cinnamon essential oil extended the shelf life of chicken patties by more than 4 days, and that oregano essential oil incorporated into a bioactive packaging film extended the shelf life of chicken meat.

The efficacy of essential oils in meat and meat-derived products is limited by numerous factors, including high volatility, low solubility in the aqueous phase, interactions with nutrients in the meat matrix, sensitivity to light and oxygen, and undesirable odor and flavor (Zhang and Piao, 2023). It has been reported that nanoparticles, packaging films, nanoemulsions and liposomes stand out as the main encapsulation approaches for overcoming these limitations, and that the physicochemical properties of the target compound and the intended application are decisive in selecting among the various techniques, including complex coacervation (Zhang and Piao, 2023). It has also been stated that foods containing encapsulated essential oils achieve higher consumer acceptance than those treated with free essential oils, and that nanoemulsion and nanoencapsulation systems prolong the preservative effect by providing controlled release (Zhang and Piao, 2023; Almuraee, 2026).

2.5. Regulatory Framework, Consumer Perception and Food Safety

In the European Union, the marketing of botanical food supplements and traditional herbal medicinal products is subject to numerous regulations concerning food safety, production, labeling and product composition; however, owing to the limited harmonization among member states, national regulations also remain in force, which may result in the same botanical product being classified as a food supplement in one member state and as a traditional herbal medicinal product in another (Silano et al., 2011). It has been emphasized that Directive 2004/24/EC provides a simplified registration procedure for traditional herbal medicinal products, whereas botanical food supplements are regulated within a different framework under Directive 2002/46/EC, and that this dual structure leads to non-uniform approaches in practice (Serafini et al., 2012; Silano et al., 2011).

On the consumer side, distrust of synthetic additives has increased the demand for natural/plant-based preservatives; however, a label analysis study conducted in Brazil found that additives in animal-based foods were used largely for flavor/appearance rather than preservation, pointing to a gap between consumer expectations and actual industry practices (Souza et al., 2025). It has been reported that primary processing steps such as sorting, cutting, drying and grinding are critical in the processing of herbal/botanical products for preserving active ingredient content, enhancing efficacy and reducing toxicity and side effects (Chua and Daniel, 2023).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Consequently, it is evident that both scientific efficacy data and regulatory compliance need to be developed together for medicinal and aromatic plants to be used safely and effectively in meat products.

3. CONCLUSIONS AND EVALUATION

The reviewed sources reveal that medicinal and aromatic plants possess a rich pool of bioactive compounds that can constitute a reliable alternative to synthetic preservatives in meat and meat products. Phenolic compounds, terpenoids and volatile oil components exert antimicrobial effects by disrupting cell membrane integrity and antioxidant effects by scavenging free radicals and breaking the lipid oxidation chain, and these effects are supported by strong scientific evidence for widely used plants such as rosemary, clove, thyme and oregano (Awad et al., 2022; Kaur et al., 2023; Valarezo et al., 2025). On the other hand, positive results obtained under laboratory conditions cannot always be reproduced to the same extent in the actual meat matrix, and complementary approaches such as combination strategies, nanoencapsulation and active packaging appear to play an increasingly decisive role in closing this gap (Cheng et al., 2024; Wen et al., 2024; Wongphan et al., 2024).

Complementary natural preservative sources such as seaweed-based compounds and bioactive peptides appear to offer alternative or complementary options to plant extracts, particularly with respect to sustainability and circular production goals (Teixeira et al., 2025; González-Osuna et al., 2024). The choice of extraction method and plant source directly determines the yield and efficacy of the compounds obtained; therefore, the application of green extraction technologies (supercritical fluid, ultrasound- and microwave-assisted extraction) with standardized protocols emerges as a critical requirement for ensuring both product quality and industrial scalability (Fonmboh et al., 2020; Ahmadi et al., 2024).

With regard to the regulatory framework, the complexity of European Union legislation and the differences in implementation among member states appear to create uncertainty in the commercialization of plant-derived preservatives (Silano et al., 2011; Serafini et al., 2012). On the consumer side, it has been determined that distrust of synthetic additives has increased the demand for natural alternatives, but that the actual patterns of additive use on food labels do not yet fully reflect this demand (Souza et al., 2025). These findings indicate that, for medicinal and aromatic plants to become widespread in meat products on an industrial scale, not only efficacy data but also standardization, safety assessment, regulatory compliance and consumer communication must be addressed together.

In conclusion, from a food engineering perspective, medicinal and aromatic plants constitute a versatile group of natural resources that can be positioned to support quality and safety at different stages of the meat product production chain, from extraction and formulation to direct application in the meat matrix, nanotechnology-based carrier systems and active packaging. Future research focusing particularly on the synergistic effects of plant combinations, on minimizing effects on sensory acceptability, and on developing cost-effective application protocols on an industrial scale is expected to make valuable contributions to translating scientific knowledge in this field into commercial practice.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

REFERENCES

[1] Ahmadi, N., Mosleh, N., Yeganeh, M., Ahmadi, N., Malakouti, S., Shahsavari, S., Shahraki, R., Katebi, S., Agapoor, M., Sadeghi, S. and Bagheri, K., Procedures to evaluate potential of plants as natural food preservatives: Phytochemical characterization, novel extraction technology, and safety evaluation—A comprehensive review, Food Science & Nutrition, 12, 6142-6156, 2024.

[2] Almuraee, A. A., Nano-formulated herbal bioactives in animal-based functional foods: A nutritional approach to enhancing bioavailability and health benefits, Applied Food Research, 6, 101587, 2026.

[3] Antony, C. and Narayanaswamy, K., Food preservatives: natural or synthetic?, Archives of Microbiology, 208, 134, 2026.

[4] Awad, A. M., Kumar, P., Ismail-Fitry, M. R., Jusoh, S., Ab Aziz, M. F. and Sazili, A. Q., Overview of plant extracts as natural preservatives in meat, Journal of Food Processing and Preservation, 46, e16796, 2022.

[5] Aziz, M. and Karboune, S., Natural antimicrobial/antioxidant agents in meat and poultry products as well as fruits and vegetables: A review, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 58(3), 486-511, 2018.

[6] Bartkiene, E., Mozuriene, E., Juodeikiene, G., Zadeike, D., Maruska, A., Stankevicius, M., Ragazinskiene, O. and Cizeikiene, D., Pork meat products functional value and safety parameters improving by using lactic acid fermentation of savory plants, Journal of Food Science and Technology, 52(11), 7143-7152, 2015.

[7] Beya, M. M., Netzel, M. E., Sultanbawa, Y., Smyth, H. and Hoffman, L. C., Plant-Based Phenolic Molecules as Natural Preservatives in Comminuted Meats: A Review, Antioxidants, 10, 263, 2021.

[8] Bouarab Chibane, L., Degraeve, P., Ferhout, H., Bouajila, J. and Oulahal, N., Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives, Journal of the Science of Food and Agriculture, 99(4), 1457-1474, 2019.

[9] Cheng, C., Jiang, L., Li, X., Song, H. and Fang, W., Can natural preservatives serve as a new line of protective technology against bacterial pathogens in meat and meat products?, Food Quality and Safety, 8, 1-17, 2024.

[10] Chua, H. P. and Daniel, N., Processing of Herbal-Based Natural Products and Functional Foods: A Review, Sains Malaysiana, 52(9), 2587-2598, 2023.

[11] Dissanayake, K., Rifky, M., Hunupolagama, D., Harris, J. M., Zokirov, K., Azizova, K., Ermat, S. and Samadiy, M., Inorganic additives in meat production and processing, E3S Web of Conferences, 510, 01028, 2024.

[12] Efenberger-Szmechtyk, M., Nowak, A. and Czyzowska, A., Plant extracts rich in polyphenols: antibacterial agents and natural preservatives for meat and meat products, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 61(1), 149-178, 2021.

[13] Enríquez, M. A., Guevara, S. J., Uvidia, H. A. and Aguiar, S. N., Essential oils from aromatic plants as an alternative for the preservation of processed meat, Ciencia e Investigación, 26(2), 3-10, 2024.

[14] Fonmboh, D. J., Abah, E. R., Fokunang, T. E., Herve, B., Teke, G. N., Rose, N. M., Borgia, N. N., Fokunang, L. B., Andrew, B. N., Kaba, N., Bathelemy, N. and Ntungwen, F. C., An Overview of Methods of Extraction, Isolation and Characterization of Natural Medicinal Plant Products in Improved Traditional Medicine Research, Asian Journal of Research in Medical and Pharmaceutical Sciences, 9(2), 31-57, 2020.

[15] Franco, R., Navarro, G. and Martínez-Pinilla, E., Antioxidants versus Food Antioxidant Additives and Food Preservatives, Antioxidants, 8, 542, 2019.

[16] Gokoglu, N., Novel natural food preservatives and applications in seafood preservation: a review, Journal of the Science of Food and Agriculture, 99, 2068-2077, 2019.

[17] González-Osuna, M. F., Bernal-Mercado, A. T., Wong-Corral, F. J., Ezquerra-Brauer, J. M., Soto-Valdez, H., Castillo, A., Rodríguez-Figueroa, J. C. and Del-Toro-Sánchez, C. L., Bioactive Peptides and Protein Hydrolysates Used in Meat and Meat Products' Preservation—A Review, ACS Food Science & Technology, 4, 1003-1016, 2024.

[18] Kaur, R., Gupta, T. B., Bronlund, J. and Kaur, L., The potential of rosemary as a functional ingredient for meat products—A review, Food Reviews International, 39(4), 2212-2232, 2023.

[19] Mussi, F., Montalbano, S., Marzouk, B., Arru, L., Refifa, M., Marzouk, Z., Kraiem, J., Degola, F. and Buschini, A., Potential of *Citrullus colocynthis* L. Schrad. Immature Seed Extracts as Food Preservative against a Fungal Mycotoxigenic Contaminant, Journal of Food Quality, 2021, 4470643, 2021.

[20] Papadochristopoulos, A., Kerry, J. P., Fegan, N., Burgess, C. M. and Duffy, G., Natural Anti-Microbials for Enhanced Microbial Safety and Shelf-Life of Processed Packaged Meat, Foods, 10, 1598, 2021.

[21] Santos-Sánchez, N. F., Salas-Coronado, R., Valadez-Blanco, R., Hernández-Carlos, B. and Guadarrama-Mendoza, P. C., Natural antioxidant extracts as food preservatives, Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 16(4), 361-370, 2017.

[22] Serafini, M., Stanzione, A., Foddai, S., Anton, R. and Delmulle, L., The European Role on Traditional Herbal Medicinal Products and Traditional Plant Food Supplements, Journal of Clinical Gastroenterology, 46, S93-S94, 2012.

[23] Shi, J., Xu, J., Liu, X., Goda, A. A., Salem, S. H., Deabes, M. M., Ibrahim, M. I. M., Naguib, K. and Mohamed, S. R., Evaluation of some artificial food preservatives and natural plant extracts as antimicrobial agents for safety, Discover Food, 4, 89, 2024.

[24] Silano, V., Coppens, P., Larrañaga-Guetaria, A., Minghetti, P. and Roth-Ehrang, R., Regulations applicable to plant food supplements and related products in the European Union, Food & Function, 2, 710-719, 2011.

[25] Söbeli, C., Medicinal aromatic plants and their use in meat and meat products, In: Ekren, S. (Ed.), *Medicinal and Aromatic Plants: Economics, Production, Agricultural Utilization and Other Aspects*, Iksad Publications, 267-298, 2021.

[26] Šojić, B., Milošević, S., Savanović, D., Zeković, Z., Tomović, V. and Pavlić, B., Isolation, Bioactive Potential, and Application of Essential Oils and Terpenoid-Rich Extracts as Effective Antioxidant and Antimicrobial Agents in Meat and Meat Products, Molecules, 28, 2293, 2023.

[27] Souza, C., Kraemer, M. V. S., Proença, R. P. C., Kliemann, N., Scapin, T., Bernardo, G. L., Uggioni, P. L. and Fernandes, A. C., Flavour over preservation: a label analysis examining the use of food additives in animal-based foods marketed in Brazil, Food Additives & Contaminants: Part A, 42(10), 1321-1329, 2025.

[28] Teixeira, D. C., Kokojka, F., Kolukuluri, R. S., Marks, R. S. and Naik, A. S., Deep Dive into Seaweed-Based Preservatives for Sustainable Production and Consumption of Meat Products, Food Reviews International, 41(5), 1223-1258, 2025.

[29] Tocai (Moțoc), A. C., Rosan, C. A., Teodorescu, A. G., Venter, A. C. and Vicas, S. I., Multifunctional Roles of Medicinal Plants in the Meat Industry: Antioxidant, Antimicrobial, and Color Preservation Perspectives, Plants, 14(17), 2737, 2025.

[30] Ullah, H., Hussain, Y., Santarcangelo, C., Baldi, A., Di Minno, A., Khan, H., Xiao, J. and Daglia, M., Natural Polyphenols for the Preservation of Meat and Dairy Products, Molecules, 27, 1906, 2022.

[31] Valarezo, E., Ledesma-Monteros, G., Jaramillo-Fierro, X., Radice, M. and Meneses, M. A., Antioxidant Application of Clove (*Syzygium aromaticum*) Essential Oil in Meat and Meat Products: A Systematic Review, Plants, 14(13), 1958, 2025.

[32] Wen, L., He, H., Liu, Y., Wang, W., Du, P., Hu, P., Cao, J. and Ma, Y., Research progress on natural preservatives of meat and meat products: classifications, mechanisms and applications, Journal of the Science of Food and Agriculture, 104, 7085-7095, 2024.

[33] Wongphan, P., Promhuad, K., Srisa, A., Laorenza, Y., Oushapjalaunchai, C. and Harnkarnsujarit, N., Unveiling the Future of Meat Packaging: Functional Biodegradable Packaging Preserving Meat Quality and Safety, Polymers, 16, 1232, 2024.

[34] Yu, H. H., Chin, Y.-W. and Paik, H.-D., Application of Natural Preservatives for Meat and Meat Products against Food-Borne Pathogens and Spoilage Bacteria: A Review, Foods, 10, 2418, 2021.

[35] Zhang, L. and Piao, X., Use of aromatic plant-derived essential oils in meat and derived products: Phytochemical compositions, functional properties, and encapsulation, Food Bioscience, 53, 102520, 2023.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

IN SILICO EVALUATION OF THE PHARMACOKINETIC AND TOXICITY PROFILES OF 1,2,4-TRIAZOLE DERIVATIVES USING SWISSADME AND PROTOX

Dr. Ergün GÜLTEKİN

Artvin Coruh University,

ergungultekinx@gmail.com https://orcid.org/0000-0001-8007-0567

ABSTRACT

Early evaluation of pharmacokinetic properties and potential toxicity is essential in drug discovery. Computational approaches can support the prioritization of 1,2,4-triazole derivatives before synthesis. This study aims to assess the physicochemical properties, drug-likeness, and pharmacokinetic profiles of proposed derivatives using SwissADME and predict their toxicity using ProTox 3.0.

Candidate structures bearing different substituents on the 1,2,4-triazole scaffold will be designed computationally and represented as SMILES strings. Their physicochemical properties, drug-likeness, and pharmacokinetic profiles will be predicted using SwissADME (Daina et al., 2017), while potential toxicity risks will be evaluated using ProTox 3.0 (Banerjee et al., 2024). These predictions will be integrated to prioritize candidates expected to exhibit favorable pharmacokinetic properties and low predicted toxicity. Since these tools do not directly establish biological activity, selected structures will be considered candidates for synthesis and biological evaluation.

The predicted profiles will be compared to explore relationships between substituent variations and pharmacokinetic and toxicological properties. This approach is expected to guide candidate selection and structural optimization. Predictions will be interpreted within model applicability limits, and experimental validation will be required to establish biological activity and safety.

Keywords: 1,2,4-Triazole; SwissADME; ProTox; pharmacokinetics; toxicity.

REFERENCES

Banerjee, P., Kemmler, E., Dunkel, M., & Preißner, R. (2024). ProTox 3.0: a webserver for the prediction of toxicity of chemicals. Nucleic Acids Research, 52(W1), W513–W520. https://doi.org/10.1093/nar/gkae303

Daina, A., Michielin, O., & Zoete, V. (2017). SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules. Scientific Reports, 7(1). https://doi.org/10.1038/srep42717

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA FİZİKSEL VE BİLİŞSEL ERGONOMİ GEREKSİNİMLERİNİN KALİTE FONKSİYON YAYILIMI (QFD) İLE ANALİZİ

BUSE AKGÖZ

Bursa Teknik Üniversitesi,

24435025042@ogr.btu.edu.tr – 0009-0004-6485-0933

Dr. Öğr. Üyesi MUHAMMET FEHMİ ÇAPANOĞLU

Bursa Teknik Üniversitesi,

Fehmi.capanoglu@btu.edu.tr – 0009-0003-0712-1200

ÖZET

Otomotiv endüstrisinde elektrikli araçlara geçiş süreci, sürücü beklentilerini performans odaklı bir yapıdan deneyim ve konfor odaklı bir yapıya dönüştürmüştür. Bu çalışma, Türkiye'nin yerli elektrikli otomobili TOGG T10X kullanıcıları özelinde fiziksel (konfor, erişim) ve bilişsel (ekran kullanımı, dikkat) ergonomi ihtiyaçlarını analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, soyut müşteri beklentilerini ölçülebilir mühendislik parametrelerine dönüştürmek amacıyla Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) yöntemi kullanılmış ve "Kalite Evi" matrisi oluşturulmuştur. Veri elde etme sürecinde, literatür ve uzman değerlendirmeleri doğrultusunda belirlenen parametreler temel alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda, araç tasarımı ve geliştirilmesinde mühendislik odağının yoğunlaşması gereken en kritik üç alan; %17 ağırlıkla H-Noktası (araç mimarisi), %16 ile Menü Derinliği (kullanıcı deneyimi-UX) ve %15 ile Ekran Hızı (yazılım/donanım) olarak belirlenmiştir. Özellikle H-Noktası yüksekliğinin sürüş hakimiyetini ve konforunu artırırken, fonksiyonel uzanma mesafeleri üzerinde negatif bir ilişki yarattığı tespit edilmiştir. Çalışma, dijital arayüzlerin (menü derinliği ve tepki süresi) güncel sürüş güvenliği üzerindeki belirleyici rolünü QFD analizi sonucunda, gelecekteki tasarım ve geliştirme süreçleri için kişileştirilebilir arayüzler ve sesli/jest kontrol sistemleri gibi stratejik öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD), Elektrikli Araçlar, Kalite Evi, Bilişsel Ergonomi

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A HYBRID STORM BRAKE FOR PORTAL CRANES

Sıla ATAY
Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü
sila.atay@ogr.deu.edu.tr - 0009-0004-3227-9226

Daniil TIMAKHOV
Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü
daniil.timakhov@ogr.deu.edu.tr - 0009-0009-5963-9232

Dr. Öğr. Üyesi Haşim Fırat KARASU
Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü
firat.karasu@deu.edu.tr – 0000-0001-7129-4171

Dr. Abdurrahman AYDIN
Güralp Vinç ve Makina Konstrüksiyon Sanayi ve Ticaret A.Ş.
abdurrahmanaydin@guralpvinc.com.tr – 0000-0003-4460-9953

Arş. Gör. Okan ÇELİK
Dokuz Eylül Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü
celik.okan@deu.edu.tr - 0000-0002-9789-0809

ABSTRACT

Portal cranes used in ports are subject to significant safety risks under severe wind and storm conditions due to their large surface areas, high centers of gravity, and exposure to open environments. When out of service, sudden and excessive wind loads may cause uncontrolled rail movement, derailment, overturning, and severe loss of life and property. Existing wind safety systems predominantly employ friction-based braking mechanisms, whose effectiveness may be compromised by power loss, hydraulic failure, or insufficient braking capacity.

The primary objective is to develop a hybrid wind safety system incorporating mechanical locking and hydraulic actuation for 50-ton-class portal cranes. The proposed system integrates a mechanical locking mechanism that restrains crane movement along the rail with a hydraulic mechanism for lock disengagement during normal operation. Thus, the system is designed to

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

maintain a safe locked position under abnormal conditions, including hydraulic or power failure.

Wind forces, braking forces, and overturning moments will be determined under various wind speeds and loading conditions in accordance with FEM 1.001 and ISO 4302 standards. The system will be modeled using SolidWorks and structurally analyzed in ANSYS to evaluate stress, deformation, and strength. Analytical and numerical results will be compared with relevant literature and standards to assess reliability and applicability.

The originality lies in integrating mechanical locking and hydraulic actuation into a unified hybrid safety approach. The study is expected to establish a validated design framework for enhancing portal crane safety under wind conditions and provide a technical basis for prototype development and industrial applications.

Keywords: Wind Load, Portal Cranes, Hybrid Mechanical-Hydraulic System, Storm Brake, Rail Clamp

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

FARKLI KAYNAK YÖNTEMLERİ İLE BİRLEŞTİRİLEN GEMİ ÇELİKLERİNDE KAYNAK BÖLGESİNİN MEKANİK VE MİKROYAPISAL İNCELENMESİ

Oğuz Kaan GÜN

Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
ORCID: 0009-0002-2198-8444
E-posta: oguzkaangun@gmail.com

Özet

Gemi inşa sektöründe çelik malzemelerin birleştirilmesinde kaynaklı imalat yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak işlemi sırasında oluşan yüksek ısı girdisi, ana malzeme, ısı tesiri altındaki bölge ve kaynak metalinde mekanik ve mikroyapısal değişimlere neden olabilmektedir. Bu değişimler, kaynaklı birleştirmenin mukavemetini ve servis koşullarındaki davranışını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, gemi yapımında yaygın olarak kullanılan AH ve DH çeliklerinin farklı kaynak yöntemleri(bazik elektrot ve rutil elektrot) ile birleştirilmesi sonucunda kaynak bölgesinde meydana gelen değişimlerin incelenmesi amaçlanmaktadır. Farklı kaynak yöntemleri kullanılarak hazırlanan numunelerin mekanik özellikleri sertlik testleri ile değerlendirilecek, kaynak bölgesi ile ısı tesiri altındaki bölgedeki mikroyapısal değişimler metalografik incelemeler ile analiz edilecektir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak kullanılan kaynak yönteminin kaynaklı birleştirmenin mekanik özellikleri ve mikroyapısı üzerindeki etkisi ortaya konulacaktır. Çalışma sonucunda, farklı kaynak yöntemleri arasında mukavemet ve mikroyapısal özellikler açısından oluşan farklılıkların belirlenmesi ve gemi yapılarında kullanılacak kaynak yöntemlerinin seçiminde mühendislik açısından değerlendirme yapılmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gemi çelikleri, kaynaklı birleştirme, mekanik özellikler, mikroyapı, sertlik

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

KOLAY YIRTILABİLİR, BARİYERLİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR POLİETİLEN FİLM GELİŞTİRİLMESİ

Alperen KONUK

Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı

akonuk@pilenpak.com - ORCID ID: 0000-0003-1240-9754

İbrahim AYMAK

Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı

iaymak@pilenpak.com - ORCID ID: 0009-0009-5127-7396

Beyza EFE ÇİĞDEM

Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı

bcigdem@pilenpak.com - ORCID ID: 0000-0001-9974-1535

Eda ARKON

Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı

eakca@pilenpak.com - ORCID ID: 0009-0002-1615-5237

ÖZET

Geri dönüştürülebilir polietilen (PE) esaslı esnek ambalajlarda yüksek bariyer performansı ile kontrollü yırtılabilirliğin birlikte sağlanması, hem kullanıcı deneyimi hem de üretim verimliliği açısından önemli bir teknik gereksinimdir. Bu çalışmada, lazer uygulamasına ihtiyaç duymadan TD yönünde kolay ve kontrollü şekilde yırtılabilen, aynı zamanda yüksek oksijen bariyeri sağlayan beş katlı PE/EVOH film yapısının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Film yapısında EVOH orta bariyer katmanı olarak kullanılmış, PE ile EVOH arasındaki aderans bağlayıcı polimer katmanlarıyla sağlanmıştır. Dış PE katmanlarında ise mekanik dayanım, proses kararlılığı ve yırtılma davranışını optimize etmek amacıyla HDPE/LDPE/LLDPE bileşenleri ile yırtılma özelliği sağlayan polimer katkısı birlikte değerlendirilmiştir.

Farklı reçeteler doğrudan beş katlı blown film üretim hattında denenmiş, üretim parametreleri ve film formülasyonları optimize edilerek 70 µm toplam kalınlığa sahip nihai yapı elde edilmiştir. Üretilen filmlerin çekme dayanımı, kopmada uzama, Elmendorf yırtılma direnci, delinme direnci, parlaklık, yüzey enerjisi, oksijen geçirgenliği ve su buharı geçirgenliği standart test yöntemleriyle karakterize edilmiştir. Optimize edilen filmde OTR değeri 2,44 cc/m²·gün, WVTR değeri 3,1 g/m²·gün olarak belirlenmiştir. TD yönündeki Elmendorf yırtılma direnci 63 gf seviyesine düşürülerek kolay açılabilirlik sağlanırken, MD ve TD çekme dayanımları sırasıyla 25 ve 28,6 N/mm² olarak korunmuştur. Delinme direnci 12,3 N ve parlaklık %99 olarak ölçülmüştür.

Sonuçlar, yüksek bariyer performansı ve mekanik bütünlük korunurken ek lazer prosesi kullanılmadan kontrollü yırtılabilir bir PE esaslı ambalaj yapısının geliştirilebildiğini göstermektedir. Geliştirilen yaklaşım; üretim adımlarının azaltılması, maliyet avantajı, enerji

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

tüketiminin düşürülmesi ve geri dönüştürülebilir ambalaj tasarımının desteklenmesi açısından endüstriyel uygulamalar için güçlü bir alternatif sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kolay yırtılabilir film, Yüksek bariyerli ambalaj, Polietilen (PE)

DEVELOPMENT OF A EASY-TEAR, HIGH-BARRIER AND SUSTAINABLE MULTILAYER POLYETHYLENE FILM

Alperen KONUK
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
akonuk@pilenpak.com - ORCID ID: 0000-0003-1240-9754
İbrahim AYMAK
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
iaymak@pilenpak.com - ORCID ID: 0009-0009-5127-7396
Beyza EFE ÇİĞDEM
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
bcigdem@pilenpak.com - ORCID ID: 0000-0001-9974-1535
Eda ARKON
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
eakca@pilenpak.com - ORCID ID: 0009-0002-1615-5237

ABSTRACT

Providing high barrier performance together with controlled tearability in recyclable polyethylene (PE)-based flexible packaging is an important technical requirement for both user experience and production efficiency. This study aimed to develop a five-layer PE/EVOH film with easy and controlled tearability in the transverse direction (TD), without the need for laser treatment, while maintaining high oxygen barrier performance. EVOH was used as the central barrier layer, and adhesion between PE and EVOH was provided by tie-layer polymers. In the outer PE layers, HDPE/LDPE/LLDPE components were evaluated together with a polymer additive providing tearability to optimize mechanical strength, process stability, and tear behavior.

Different formulations were tested directly on a five-layer blown film production line, and the final 70 µm structure was obtained by optimizing formulation and processing conditions. The films were characterized for tensile strength, elongation at break, Elmendorf tear resistance,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

puncture resistance, gloss, surface energy, oxygen transmission rate (OTR), and water vapor transmission rate (WVTR) using standard test methods. For the optimized film, OTR and WVTR were 2.44 cc/m²·day and 3.1 g/m²·day, respectively. TD Elmendorf tear resistance was reduced to 63 gf, enabling easy opening, while MD and TD tensile strengths were maintained at 25 and 28.6 N/mm², respectively. Puncture resistance was 12.3 N and gloss was 99%.

The results show that a PE-based packaging film with controlled tearability can be developed without an additional laser process while preserving barrier performance and mechanical integrity. This approach may reduce process steps, costs, and energy consumption while supporting recyclable packaging design.

Keywords: Easy-tear film, High-barrier packaging, Polyethylene (PE)

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

AÇMASI KOLAY, KAYNAK YAPIŞMA SORUNU OLMAYAN PE KÜVET İLE UYUMLU ÜST FOLYO GELİŞTİRİLMESİ

İbrahim AYMAK
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
iaymak@pilenpak.com - ORCID ID: 0009-0009-5127-7396
Alperen KONUK
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
akonuk@pilenpak.com - ORCID ID: 0000-0003-1240-9754
Beyza EFE ÇİĞDEM
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
bcigdem@pilenpak.com - ORCID ID: 0000-0001-9974-1535
Eda ARKON
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
eakca@pilenpak.com - ORCID ID: 0009-0002-1615-5237

ÖZET

Polietilen (PE) esaslı küvet ambalajlarda kullanılan üst folyolarda yeterli sızdırmazlığın sağlanması kadar, ambalajın tüketici tarafından düşük ve kontrollü bir kuvvetle, yırtılmadan bütün olarak açılabilmesi de önemli bir performans kriteridir. Bu çalışmada, PE küvetlerle uyumlu, kolay soyulabilir ve kaynak bölgesinde yapışma problemi oluşturmayan beş katlı PE esaslı bir üst folyo geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla HDPE, LDPE ve LLDPE bileşenleri mekanik dayanım, esneklik ve işlenebilirlik gereksinimlerine göre katmanlara dağıtılmış; iç PE katmanına farklı oranlarda özel katkılar ilave edilerek kontrollü soyulma davranışı oluşturulmuştur.

Geliştirilen reçeteler doğrudan blown film üretim hattında denenmiş ve proses parametreleri optimize edilerek 50 µm kalınlığında nihai film yapısı elde edilmiştir. Film performansı çekme dayanımı, kopmada uzama, Elmendorf yırtılma direnci, delinme direnci, sürtünme katsayısı, opasite, soyulma kuvveti ve sızdırmazlık testleriyle değerlendirilmiştir. Optimize edilen filmde MD ve TD çekme dayanımları sırasıyla 25,2 ve 24,8 N/mm², delinme direnci 15 N ve opasite %89,3 olarak ölçülmüştür. Standart üst folyoda 26 N seviyesinde olan ve film uzamasıyla sonuçlanan soyulma davranışı, geliştirilen yapıda 1,5 N kontrollü soyulma kuvvetine düşürülmüş; film yırtılmadan bütün olarak ayrılmıştır. Sızdırmazlık performansı ise uygun seviyede korunmuştur.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Sonuçlar, özel katkılarla gerçekleştirilen formülasyon optimizasyonu sayesinde mekanik bütünlük ve sızdırmazlık korunurken kolay açılabilirliğin sağlanabileceğini göstermiştir. Geliştirilen yapı, kullanıcı dostu ve endüstriyel üretime uygulanabilir bir ambalaj çözümü sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kolay açılır ambalaj, PE üst folyo, Şişirme film ekstrüzyonu

DEVELOPMENT OF A LIDDING FILM COMPATIBLE WITH PE TRAYS, PROVIDING EASY OPENING WITHOUT SEAL ADHESION PROBLEMS

Alperen KONUK
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
akonuk@pilenpak.com - ORCID ID: 0000-0003-1240-9754
İbrahim AYMAK
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
iaymak@pilenpak.com - ORCID ID: 0009-0009-5127-7396
Beyza EFE ÇİĞDEM
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
bcigdem@pilenpak.com - ORCID ID: 0000-0001-9974-1535
Eda ARKON
Pilenpak Ambalaj, Araştırma ve Geliştirme Departmanı
eakca@pilenpak.com - ORCID ID: 0009-0002-1615-5237

ABSTRACT

In polyethylene (PE)-based tray packaging, achieving sufficient seal integrity is as important as enabling consumers to open the package with a low and controlled force without tearing the lidding film. This study aimed to develop a five-layer PE-based lidding film compatible with PE trays, providing easy peelability while preventing adhesion-related problems in the sealing area. For this purpose, HDPE, LDPE, and LLDPE components were distributed among the film layers according to mechanical strength, flexibility, and processability requirements, while special additives were incorporated into the inner PE layer at different ratios to obtain controlled peel behavior.

The developed formulations were tested directly on a blown film production line, and process parameters were optimized to obtain a final film thickness of 50 μm. Film performance was

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

evaluated through tensile strength, elongation at break, Elmendorf tear resistance, puncture resistance, coefficient of friction, opacity, peel force, and seal integrity tests. In the optimized film, MD and TD tensile strengths were measured as 25.2 and 24.8 N/mm², respectively, while puncture resistance reached 15 N and opacity was 89.3%. Compared with the standard lidding film, which exhibited a peel force of 26 N accompanied by film stretching, the developed structure achieved a controlled peel force of 1.5 N and separated completely without tearing. Seal integrity was maintained at an acceptable level.

The results demonstrate that formulation optimization using special additives can provide easy-open functionality while preserving mechanical integrity and sealing performance. The developed structure offers a user-friendly and industrially applicable packaging solution.

Keywords: Easy-open packaging, PE lidding film, Blown film extrusion

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

SİVAS İLİNİN FOTOVOLTAİK ÜRETİM POTANSİYELİ: GÜNEŞ IŞINIMI, ÖZGÜL ÜRETİM VE İKLİMSEL ETKİLERİN ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR
Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
anur@beu.edu.tr - https://orcid.org/0009-0006-5671-6923

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ
Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
srustemli@beu.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-4957-1782

ÖZET

Bu çalışmada Sivas ilinin fotovoltaik (PV) üretim potansiyeli, il merkezi ve 16 ilçe merkezini kapsayan 17 noktada Global Solar Atlas uzun dönem verileriyle değerlendirilmiştir. Sivas merkezde yıllık global yatay ışınım 1.682,2 kWh/m², optimum eğim 33°, eğimli yüzey ışınımı 1.935,2 kWh/m² ve özgül üretim 1.585,9 kWh/kWp'dir (kapasite faktörü %18,1; performans oranı %81,9). İlçe merkezlerinde özgül üretim 1.461,9 kWh/kWp (Doğanşar) ile 1.671,0 kWh/kWp (Gürün) arasında değişmektedir. Bu farkın %91'i yaygın ışınım oranıyla, %77'si enlemle açıklanmakta; Kelkit Vadisi çevresindeki kuzey ilçelerde bulutluluk üretimi düşürmektedir. Performans oranı kışın %88–90'a yükselmekte, ilçeler arasında sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Atlas modelinde yer almayan kar kayıpları için yapılan duyarlılık analizi, yıllık üretimin %1,6–8,1 azalabileceğini göstermektedir. Sonuçlar, büyük ölçekli santral araştırmalarının güney ve batı ilçelerinde yoğunlaştırılması gerektiğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sivas, Fotovoltaik, Özgül üretim, Performans oranı, Global Solar Atlas

PHOTOVOLTAIC GENERATION POTENTIAL OF SIVAS PROVINCE: AN ANALYSIS OF SOLAR IRRADIATION, SPECIFIC YIELD AND CLIMATIC EFFECTS

ABSTRACT

This paper assesses the photovoltaic (PV) generation potential of Sivas Province, Türkiye, at 17 points covering the provincial centre and 16 district centres, using long-term Global Solar Atlas data. In the provincial centre, annual global horizontal irradiation is 1,682.2 kWh/m², the optimum tilt is 33°, global tilted irradiation is 1,935.2 kWh/m² and specific yield is 1,585.9 kWh/kWp (capacity factor 18.1%; performance ratio 81.9%). Specific yield across district centres ranges from 1,461.9 kWh/kWp (Doğanşar) to 1,671.0 kWh/kWp (Gürün). The diffuse fraction explains 91% and latitude 77% of this variation, with cloudiness reducing yield in the northern districts around the Kelkit Valley. The performance ratio rises to 88–90% in winter and, across districts, decreases with ambient temperature. A sensitivity analysis for snow losses, which the atlas model does not include, shows that annual yield may fall by 1.6–8.1%. The results suggest that utility-scale site surveys should focus on the southern and western districts.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Keywords: Sivas, Photovoltaics, Specific yield, Performance ratio, Global Solar Atlas

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, dünyada en hızlı büyüyen elektrik üretim kaynağıdır: 2025 yılında devreye alınan 692 GW'lık yenilenebilir kapasitenin 511 GW'ı güneş enerjisine aittir [1]. Türkiye'de 2025 yılında güneşin elektrik üretimindeki payı %10,5'e, Ağustos 2026 itibarıyla kurulu güçteki payı %22'ye ulaşmıştır [2]. GEPA'ya göre Türkiye'de ortalama yıllık güneşlenme süresi 2.741 saat, yıllık toplam ışınım 1.527,46 kWh/m²'dir [3].

Sivas, yüzölçümü bakımından Türkiye'nin ikinci büyük ili olup karasal iklime sahiptir. İl için yapılan çalışmalar üniversite yerleşkesinde ekonomik analiz [4], beş ilçede PVsyst tabanlı santral tasarımı [5] ve bir fakülte çatısında tasarım [6] gibi belirli tesislere odaklanmıştır. Bu bildiride ilin tüm ilçe merkezleri ortak veri kaynağı ve sistem varsayımıyla karşılaştırılmış, ilçeler arasındaki üretim farkının iklimsel nedenleri nicel olarak incelenmiş ve atlas modelinde yer almayan kar kayıpları için duyarlılık analizi yapılmıştır.

2. VERİ VE YÖNTEM

Işınım ve PV üretim değerleri Global Solar Atlas uzun dönem ortalama veri servisinden 1 Ekim 2026'da sorgulanmıştır (veri sürümü 1.7, katman sürümü 2.2.68) [7]. Işınım katmanları Solargis uydu modeline (2025'e kadar), sıcaklık katmanı ERA yeniden analiz verisine (1994–2025) dayanmaktadır. Kullanılan büyüklükler yatay global ışınım (GHI), yaygın ışınım (DIF), optimum eğim (OPTA), eğimli yüzey ışınımı (GTI), ortam sıcaklığı (TEMP) ve özgül PV üretimidir (PVOUT). PVOUT, optimum eğimde güneye yönlendirilmiş, kristal silisyum modüllü 1 kWp'lik sabit bir sistemi temsil eder ve kar kaybını içermez [8]. Güneşlenme süreleri MGM Sivas istatistiklerinden alınmıştır [9]. Örneklem, Sivas merkez ve 16 ilçe merkezinin tamamından oluşan 17 noktadır.

Kapasite faktörü (KF), performans oranı (PR) ve eğim kazancı (EK) aşağıdaki bağıntılarla hesaplanmıştır [10]:

$$\mathrm{KF_T} = \frac{E_\mathrm{T}}{P_0 \cdot \Delta t_\mathrm{T}} \tag{1}$$

$$\mathrm{PR_T} = \frac{E_\mathrm{T}/P_0}{H_\mathrm{T}/G_\mathrm{STK}} = \frac{Y_\mathrm{T} \cdot G_\mathrm{STK}}{H_\mathrm{T}} \tag{2}$$

$$\mathrm{EK} = \frac{\mathrm{GTI}}{\mathrm{GHI}} - 1 \tag{3}$$

Burada E_T dönem üretimi (kWh), P_0 DC nominal güç (kWp), Δt_T dönem süresi (h), Y_T özgül üretim (kWh/kWp), H_T modül düzlemi ışınımı (kWh/m²) ve G_{STK} = 1 kW/m²'dir. Yıllık KF için 8.760 saat kullanılmıştır. İlçeler arasındaki farkın coğrafi ve iklimsel değişkenlerle ilişkisi Pearson korelasyon katsayısı (r) ve doğrusal regresyonun belirlilik katsayısı (R^2) ile incelenmiştir. Kar kaybı için Aralık–Şubat üretiminin %10, %25 ve %50'sinin kaybedildiği senaryolar değerlendirilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

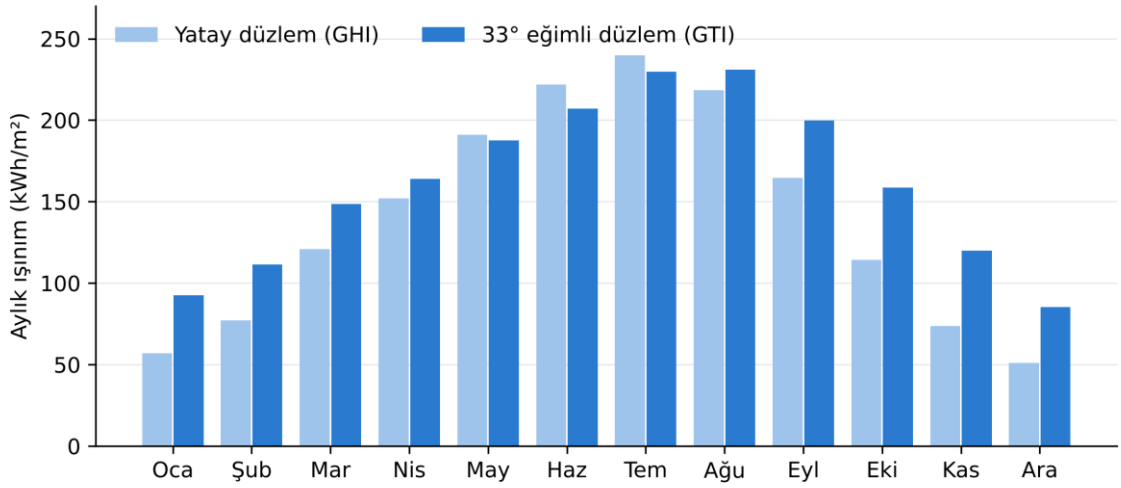
3.1. Sivas merkezde aylık değerler

Sivas merkeze (39,75° K; 37,02° D; 1.281 m) ait aylık değerler Çizelge 1'de verilmiştir. Yıllık GHI 1.682,2 kWh/m² olup en yüksek değer Temmuz'da (239,9 kWh/m²), en düşük değer Aralık'tadır (51,0 kWh/m²); yaygın ışınım payı %34,6'dır. 33°'lik optimum eğimde yıllık ışınım 1.935,2 kWh/m²'ye yükselerek %15,0 eğim kazancı sağlamaktadır. Kazanç kış aylarında belirgindir; Aralık'ta eğimli yüzey ışınımı yatay düzlemin 1,67 katıdır (Görsel 1). MGM verilerine göre yıllık güneşlenme süresi 2.491,5 saattir (günlük 6,8 saat).

Çizelge 1. Sivas merkez için aylık güneş kaynağı, PV üretimi ve iklim değerleri

Ay	GHI (kWh/m²)	GTI 33° (kWh/m²)	DIF (kWh/m²)	PVOUT (kWh/kWp)	PR (%)	TEMP (°C)	Güneşlenme (saat/gün)
Ocak	57,0	92,4	26,6	83,0	89,8	-3,4	2,6
Şubat	77,1	111,5	34,3	98,4	88,3	-2,5	3,6
Mart	121,0	148,6	53,5	126,8	85,3	2,8	4,8
Nisan	152,2	163,9	67,2	135,2	82,5	8,8	6,3
Mayıs	191,0	187,4	73,9	150,8	80,4	13,2	8,0
Haziran	221,9	207,1	66,3	163,1	78,8	17,0	10,5
Temmuz	239,9	229,8	62,9	178,1	77,5	19,8	11,9
Ağustos	218,5	231,0	56,1	179,1	77,6	20,4	11,4
Eylül	164,6	199,9	47,4	159,1	79,6	16,8	9,4
Ekim	114,2	158,5	42,2	132,0	83,3	11,4	6,5
Kasım	73,8	119,8	26,7	103,9	86,8	4,5	4,2
Aralık	51,0	85,4	24,1	76,4	89,5	-1,0	2,5
Yıllık	1.682,2	1.935,2	581,2	1.585,9	81,9	9,0	6,8

Kaynak: GSA [7]; güneşlenme MGM [9]. Değerler yuvarlanmamış atlas verilerinden hesaplanmıştır. PR = 100 × PVOUT/GTI.

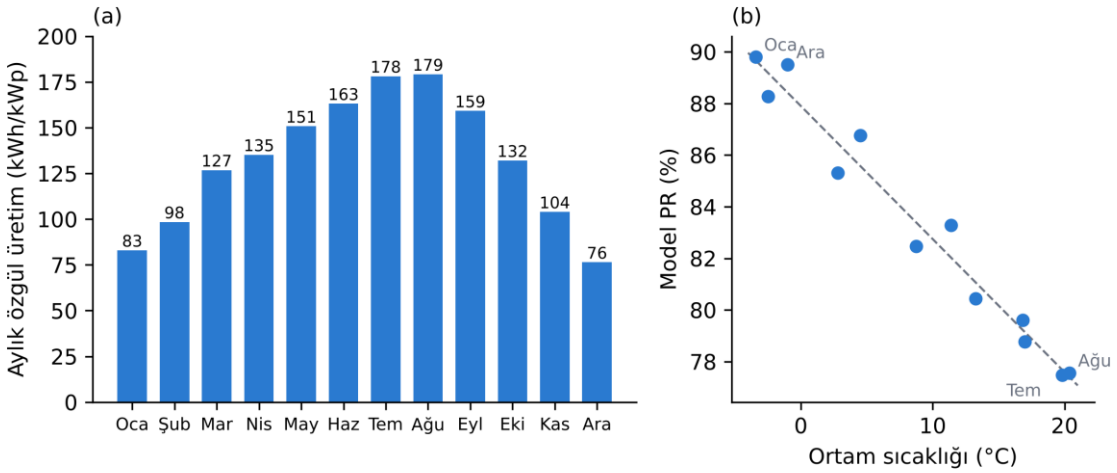


Görsel 1. Sivas merkezde yatay ve 33° eğimli düzleme gelen aylık global ışınım [7]

Yıllık özgül üretim 1.585,9 kWh/kWp olup KF %18,1 ve PR %81,9'dur. Aylık üretim Ağustos'ta 179,1, Aralık'ta 76,4 kWh/kWp'dir (Görsel 2a). PR, Ocak'ta %89,8'e yükselirken Temmuz'da %77,5'e düşmektedir. Aylık PR ile ortam sıcaklığı arasında güçlü negatif ilişki vardır (r = −0,98; Görsel 2b); ancak yaz aylarındaki yüksek ışınım hücre sıcaklığını ayrıca

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

artırdığından [11] bu eğim modül sıcaklık katsayısı olarak yorumlanmamalıdır. Kışın eğimli montaj ve düşük termal kayıplar sayesinde Aralık/Temmuz üretim oranı (%42,9), GHI oranının (%21,3) iki katına çıkmaktadır.



Görsel 2. Sivas merkezde (a) aylık özgül üretim ve (b) aylık PR ile ortam sıcaklığı ilişkisi [7]

3.2. İlçelere göre dağılım ve iklimsel etkenler

İlçe merkezlerinin yıllık göstergeleri Çizelge 2'de, konumları Görsel 3'te verilmiştir. En yüksek özgül üretim Gürün (1.671,0 kWh/kWp), Kangal (1.663,5) ve Gemerek'te (1.638,1); en düşük üretim Doğanşar (1.461,9), Koyulhisar (1.467,9) ve Akıncılar'dadır (1.497,1). Gürün ile Doğanşar arasındaki fark %14,3'tür.

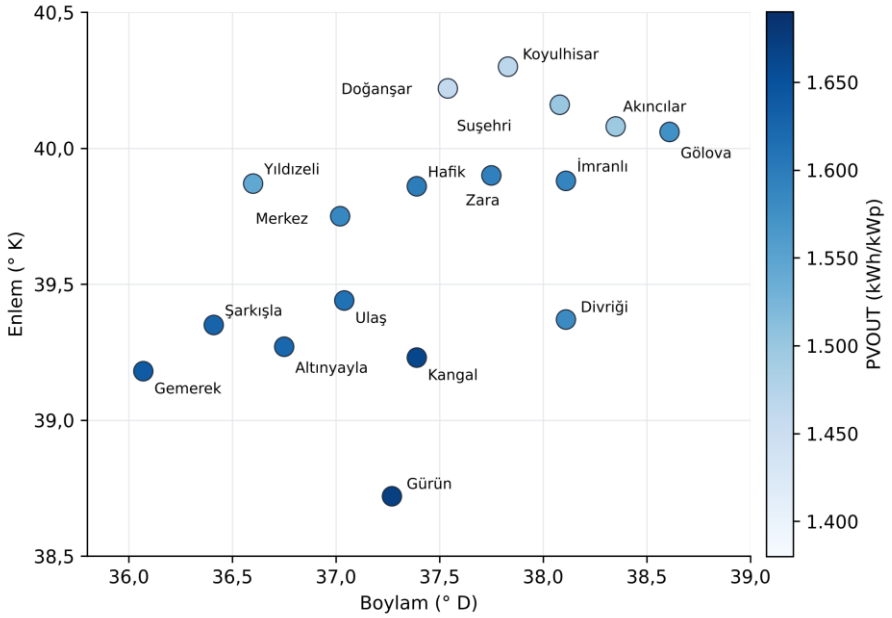
Çizelge 2. İlçe merkezleri için yıllık güneş kaynağı ve PV üretim göstergeleri

İlçe	Enlem / Boylam (°)	Rakım (m)	GHI (kWh/m²)	DIF/GHI (%)	GTI (kWh/m²)	TEMP (°C)	PVOUT (kWh/kWp)	KF (%)	PR (%)
Gürün	38,72 / 37,27	1.331	1.788,8	29,7	2.072,2	9,6	1.671,0	19,1	80,6
Kangal	39,23 / 37,39	1.536	1.753,0	30,4	2.029,0	7,9	1.663,5	19,0	82,0
Gemerek	39,18 / 36,07	1.217	1.740,1	32,7	2.016,8	10,2	1.638,1	18,7	81,2
Şarkışla	39,35 / 36,41	1.242	1.719,6	33,2	1.994,8	9,3	1.627,6	18,6	81,6
Altınyayla	39,27 / 36,75	1.476	1.713,0	32,8	1.985,4	8,2	1.624,3	18,5	81,8
Ulaş	39,44 / 37,04	1.381	1.702,7	33,1	1.971,4	8,6	1.611,6	18,4	81,7
Hafik	39,86 / 37,39	1.345	1.687,3	34,0	1.948,4	8,3	1.598,6	18,2	82,0
Zara	39,90 / 37,75	1.508	1.677,9	33,5	1.943,0	8,4	1.594,8	18,2	82,1
İmranlı	39,88 / 38,11	1.665	1.668,3	33,4	1.929,1	7,4	1.590,6	18,2	82,5
Merkez	39,75 / 37,02	1.281	1.682,2	34,6	1.935,2	9,0	1.585,9	18,1	81,9
Divriği	39,37 / 38,11	1.049	1.707,9	32,2	1.966,8	11,3	1.581,3	18,1	80,4
Gölova	40,06 / 38,61	1.326	1.663,9	34,3	1.914,8	7,8	1.573,8	18,0	82,2
Yıldızeli	39,87 / 36,60	1.362	1.643,8	35,5	1.886,3	8,5	1.545,0	17,6	81,9
Suşehri	40,16 / 38,08	1.118	1.592,9	37,5	1.813,6	8,8	1.500,7	17,1	82,7
Akıncılar	40,08 / 38,35	1.064	1.617,1	35,8	1.829,2	8,9	1.497,1	17,1	81,8

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

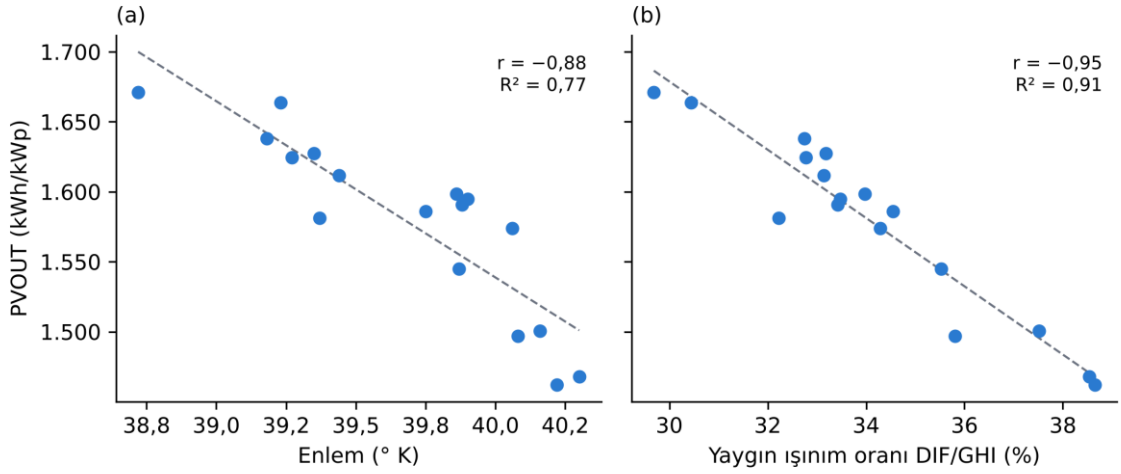
Koyulhisar	40,30 / 37,83	908	1.565,8	38,5	1.797,2	9,8	1.467,9	16,8	81,7
Doğanşar	40,22 / 37,54	1.326	1.543,7	38,7	1.773,5	7,6	1.461,9	16,7	82,4

Kaynak: GSA nokta değerleri [7]. Koordinatlar sorgu noktalarıdır; KF, 8.760 saat ve DC nominal güç esasına göre hesaplanmıştır.



Görsel 3. Sorgu noktalarının konumu ve yıllık özgül PV üretimi [7]

Üretimde belirgin bir kuzey–güney eğilimi vardır: PVOUT ile enlem arasında r = −0,88 (R^2 = 0,77) ilişki bulunmuş, kuzeye doğru her 1°'de üretim yaklaşık 126 kWh/kWp azalmaktadır (Görsel 4a). Yaygın ışınım oranıyla ilişki ise daha güçlüdür (r = −0,95; R^2 = 0,91; Görsel 4b). DIF/GHI oranı Gürün'de %29,7 iken Doğanşar'da %38,7'ye çıkmaktadır. En düşük üretimli noktaların Karadeniz etkisine açık Kelkit Vadisi çevresinde yer alması, ilçeler arasındaki farkın başlıca nedeninin bulutluluk olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, Gürün'ün yüksek üretimini raporlayan önceki çalışmayla [5] uyumludur.



Görsel 4. İlçe merkezlerinde yıllık özgül üretimin (a) enlem ve (b) yaygın ışınım oranı ile ilişkisi

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Sıcaklığın etkisi ikincil düzeydedir: PR %80,4 (Divriği) ile %82,7 (Suşehri) arasında değişmekte ve ortam sıcaklığı arttıkça azalmaktadır (r = −0,81). Rakım, enlem ve bulutlulukla ilişkili olduğundan bağımsız katkısı bu örneklemle ayrıştırılamamaktadır.

3.3. Kar etkisi ve karşılaştırma

MGM kayıtlarına göre Sivas'ta en yüksek kar kalınlığı 110 cm, en düşük sıcaklık −34,4 °C'dir [9]. Aralık–Şubat üretimi yıllık üretimin %16,3'ünü oluşturduğundan, bu dönem üretiminin %10, %25 ve %50'sinin kar nedeniyle kaybı yıllık üretimi sırasıyla %1,6, %4,1 ve %8,1 azaltmaktadır. Bu aralık, ölçümlere dayanan %1–12'lik yıllık kar kaybı aralığıyla [12] uyumludur. Tasarımda yeterli modül yüksekliği, karın kaymasını kolaylaştıran eğim, yerel kar yüküne göre taşıyıcı boyutlandırma ve en düşük sıcaklıktaki açık devre gerilimine göre dizi boyutlandırması dikkate alınmalıdır.

Aynı yöntemle sorgulanan il merkezlerinde Sivas (1.585,9 kWh/kWp), Ankara'dan (1.544,4) %2,7 yüksek; Konya'dan (1.632,8) %2,9 ve Van'dan (1.733,2) %8,5 düşüktür. Gürün ve Kangal noktaları ise Konya merkezin üzerindedir. İlde 1,2 MW'lık Özbelsan ve 1 MW'lık Suşehri Belediyesi GES'leri 2026'da işletmeye alınmış; 1.000 MW'lık Sivas GES projesi için 2028 başında ticari işletme hedeflenmektedir [13].

4. SONUÇ

Bu bildiride Sivas'ın tüm ilçe merkezleri için ortak veri ve sistem varsayımıyla PV potansiyeli değerlendirilmiştir. Başlıca sonuçlar şunlardır:

- Sivas merkezde özgül üretim 1.585,9 kWh/kWp (KF %18,1; PR %81,9) olup ilçelerde 1.461,9–1.671,0 kWh/kWp arasında değişmektedir.
- İlçeler arasındaki farkın başlıca nedeni bulutluluktur (DIF/GHI ile r = −0,95); kuzeydeki Kelkit Vadisi ilçelerinde üretim belirgin biçimde düşüktür.
- PR kışın %88–90'a yükselmekte, ancak kar kayıpları yıllık üretimi %1,6–8,1 azaltabilmektedir.
- Büyük ölçekli santral araştırmalarının Gürün, Kangal, Gemerek, Şarkışla ve Altınyayla'da yoğunlaştırılması; kamu binaları, su tesisleri ve tarımsal sulamada lisanssız uygulamaların yaygınlaştırılması önerilmektedir.

Sonuçlar noktasal atlas değerlerine dayanmaktadır. Sonraki çalışmalarda saha ışınım ölçümleriyle doğrulama, kar kaybının yerel verilerle modellenmesi ve CBS tabanlı arazi uygunluk analizi yapılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] IRENA, Renewable Capacity Highlights 2026, International Renewable Energy Agency, Abu Dabi, 31 Mart 2026. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2026/Mar/IRENA_DAT_RE_capacity_highlights_2026.pdf (Erişim: 01.10.2026).

[2] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Bilgi Merkezi – Elektrik. https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik (Erişim: 01.10.2026).

[3] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Bilgi Merkezi – Güneş. https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes (Erişim: 01.10.2026).

[4] V. Sarı, F.Y. Özyiğit, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesinde Güneş Enerjisi Santralinin Ekonomik Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 22(65) (2020) 517–526. https://doi.org/10.21205/deufmd.2020226519

[5] V. Sarı, F.Y. Özyiğit, Sivas İlinin Farklı İlçelerinde Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Analizi, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (20) (2020) 425–437. https://doi.org/10.31590/ejosat.797434

[6] E. Başpınar, V. Sarı, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Çatıya Entegre Güneş Enerjisi Santralı Tasarımı ve Ekonomik Değerlendirilmesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(1) (2025) 21–31. https://doi.org/10.69560/cujast.1676852

[7] Global Solar Atlas 2.0 (veri sürümü 1.7; katman sürümü 2.2.68, güncelleme 01.04.2026), Solargis s.r.o. tarafından Dünya Bankası Grubu adına geliştirilmiş, ESMAP tarafından finanse edilmiştir. https://globalsolaratlas.info (Erişim: 01.10.2026).

[8] ESMAP, Global Solar Atlas 2.0 Technical Report, World Bank, Washington, DC, 2019. https://documents1.worldbank.org/curated/en/529431592893043403/pdf/Global-Solar-Atlas-2-0-Technical-Report.pdf (Erişim: 01.10.2026).

[9] Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Sivas İli İstatistik Verileri (ölçüm periyodu 1929–2025). https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=SIVAS (Erişim: 01.10.2026).

[10] IEC 61724-1:2021, Photovoltaic system performance – Part 1: Monitoring, International Electrotechnical Commission, Cenevre, 2021.

[11] E. Skoplaki, J.A. Palyvos, On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations, Solar Energy, 83(5) (2009) 614–624. https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008

[12] B. Marion, R. Schaefer, H. Caine, G. Sanchez, Measured and modeled photovoltaic system energy losses from snow for Colorado and Wisconsin locations, Solar Energy, 97 (2013) 112–121. https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.07.029

[13] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Sivas ve Taşeli GES'te Temeller Bu Yıl Atılıyor, 20 Şubat 2026. https://enerji.gov.tr/haber-detay?id=31749 (Erişim: 01.10.2026).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

SİVAS İLİ RÜZGÂR KAYNAĞININ WEİBULL DAĞILIMI VE YÜKSEKLİK EKSTRAPOLASYONU İLE ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR
Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
anur@beu.edu.tr - https://orcid.org/0009-0006-5671-6923

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ
Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
srustemli@beu.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-4957-1782

ÖZET

Bu çalışmada Sivas Nuri Demirağ Havalimanı'na ait 2024 yılı saatlik METAR rüzgâr gözlemleri kullanılarak istasyonun rüzgâr karakteristikleri ve enerji potansiyeli incelenmiştir. Rüzgâr hızı dağılımı, sakin saatler ayrı bir olasılık kütlesi olarak ele alınarak Weibull modeliyle tanımlanmış; hızlar logaritmik yasa, üstel yasa ve Justus–Mikhail yöntemiyle 30–120 m yüksekliklere taşınmış ve IEA 3,4 MW referans türbininin 110 m göbek yüksekliğindeki brüt enerji üretimi hesaplanmıştır. 10 m nominal referans yüksekliğinde yıllık ortalama hız 3,88 m/s, güç yoğunluğu 67,1 W/m², Weibull parametreleri ise k = 1,83 ve c = 4,47 m/s'dir. Ortalama hava yoğunluğu deniz seviyesi standart değerinden yaklaşık %15 düşüktür. Göbek yüksekliğindeki brüt kapasite faktörü nominal senaryoda %24,9 olup yönteme bağlı olarak %21,4–37,8 aralığında değişmektedir. Sonuçlar, havalimanı noktasının düşük bir rüzgâr kaynağına sahip olduğunu ve göbek yüksekliği tahminlerinin ekstrapolasyon yöntemine güçlü biçimde bağlı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sivas, Rüzgâr potansiyeli, Weibull dağılımı, Yükseklik ekstrapolasyonu

ANALYSIS OF THE WIND RESOURCE OF SIVAS PROVINCE USING THE WEIBULL DISTRIBUTION AND HEIGHT EXTRAPOLATION

ABSTRACT

In this study, the wind characteristics and energy potential at Sivas Nuri Demirağ Airport were investigated using hourly METAR wind observations for 2024. The wind speed distribution was described with the Weibull model, treating calm hours as a separate probability mass; the speeds were extrapolated to 30–120 m using the logarithmic law, the power law and the Justus–Mikhail method, and the gross energy yield of the IEA 3.4 MW reference turbine at a 110 m hub height was calculated. At the 10 m nominal reference height, the annual mean wind speed was 3.88 m/s, the power density was 67.1 W/m², and the Weibull parameters were k = 1.83 and c = 4.47 m/s. The mean air density was about 15% lower than the standard sea-level value. The gross capacity factor at hub height was 24.9% in the nominal scenario and ranged from 21.4% to 37.8% depending on the method. The results indicate a low wind resource at the airport site and show that hub-height estimates depend strongly on the extrapolation method.

Keywords: Sivas, Wind potential, Weibull distribution, Height extrapolation,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

1. GİRİŞ

Rüzgâr enerjisi, Türkiye'de kurulu gücü en hızlı artan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir; ülkenin rüzgâr kurulu gücü 2025 yılı sonunda 15.934,05 MW'a ulaşmış, yalnızca 2025 yılında 2.141,55 MW yeni kapasite devreye alınmıştır [1]. Türbin gücü rüzgâr hızının küpüyle orantılı olduğundan ortalama hızdaki küçük hatalar enerji tahmininde büyük sapmalara yol açar [2]. Meteoroloji istasyonları rüzgâr hızını çoğunlukla 10 m'de raporlarken günümüz karasal türbinlerinin göbek yükseklikleri 100 m'nin üzerindedir; bu nedenle ölçümlerin göbek yüksekliğine taşınması rüzgâr kaynağı değerlendirmesinin temel adımlarından biridir.

Dinçer vd. [3] Kilis için 10 m ölçümlerini logaritmik yasayla 30–80 m yüksekliklere taşımış, ancak Weibull parametrelerini, güç yoğunluğunu ve enerji üretimini hesaplamamıştır. Türkiye'de Weibull ve Rayleigh dağılımlarıyla yapılan istasyon ölçekli analizlere Elazığ-Ağın [4], altı farklı meteoroloji istasyonu [5] ve Bitlis-Rahva [6] çalışmaları örnek verilebilir. Son çalışmalar, sabit bir rüzgâr kesme üssünün zaman, yer ve atmosferik kararlılığa bağlı değişimi temsil edemeyebileceğini ve düşey ekstrapolasyonun önemli bir belirsizlik kaynağı olduğunu göstermektedir [7,8]. Sivas için Duman vd. [9] il merkezindeki iki istasyonun rüzgâr potansiyelini santral kurulumu için düşük bulmuş, Köse [10] ise coğrafi bilgi sistemi ve analitik hiyerarşi süreciyle uygun santral alanlarını belirlemiştir. Ancak ildeki farklı bir ölçüm noktasında rüzgâr hızının yükseklikle değişimi ve türbin ölçeğinde enerji üretimi henüz ele alınmamıştır.

Bu bildiride Sivas Nuri Demirağ Havalimanı'nın 2024 yılı saatlik ölçümleri kullanılarak (i) 10 m referans yüksekliği kabulü altında rüzgâr hızı, yön ve güç yoğunluğu karakteristikleri belirlenmiş, (ii) hızlar farklı yöntemlerle 30–120 m yüksekliklere taşınarak yöntemler arasındaki farklar ortaya konmuş ve (iii) bir referans türbin için yıllık enerji üretimi ve kapasite faktörü tahmin edilmiştir. Analizde saatlik değişken hava yoğunluğu dikkate alınmış ve sakin rüzgâr olasılığı Weibull modelinden ayrı ele alınmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Ölçüm noktası ve veri

Çalışmada NOAA NCEI Integrated Surface Database (ISD) arşivinde 17090099999 kodu ile yer alan Sivas Nuri Demirağ Havalimanı (ICAO: LTAR; 39,8138° K, 36,9035° D; 1595,9 m) kayıtları kullanılmıştır [11]. 2024 yılına ait saatlik METAR raporlarından 8.395 saatlik gözlem elde edilmiş olup veri kapsaması %95,6'dır (aylık %84,5–100). METAR raporlarında rüzgâr 10 dakikalık ortalama olarak verilir [12]; hızlar rapor metnindeki 1 kt (≈0,514 m/s) çözünürlüklü ham değerlerden m/s'ye çevrilmiştir. Sakin kayıtlar (176 saat, %2,10) hız analizinde 0 m/s olarak tutulmuş, değişken yönlü kayıtlar (702 saat) ise yalnızca yön analizinden çıkarılmıştır. Anemometre yüksekliği kayıtlarda yer almadığından WMO standart ölçüm yüksekliği olan 10 m [13] nominal referans yüksekliği olarak kabul edilmiştir. Eksik saatler doldurulmamış; yıllık enerji, gözlenen saatlerin ortalama gücü yılın toplam saat sayısıyla (8.784 saat) çarpılarak hesaplanmıştır. Eksik saatlere ilgili ayın ortalaması atanarak yapılan duyarlılık kontrolünde yıllık ortalama hız 3,88 m/s'den 3,87 m/s'ye değişmiş, güç yoğunluğu ise değişmemiştir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

2.2. Hava yoğunluğu

Yüksek rakımlı bir noktada deniz seviyesi standart yoğunluğunun (1,225 kg/m³) kullanılması güç yoğunluğunu olduğundan yüksek gösterir. Bu nedenle hava yoğunluğu her saat için ideal gaz denklemiyle hesaplanmıştır [2]:

$$\rho = p / (R_d \cdot T) \quad (1)$$

Burada T mutlak sıcaklık, kuru hava gaz sabiti ise 287,05 J/(kg·K) değerindedir. İstasyon basıncı p, METAR'daki QNH değerinden ICAO standart atmosfer ilişkisiyle [14] elde edilmiştir (H = 1595,9 m). Nem etkisi ihmal edilmiştir:

$$p = QNH \cdot (1 - 0{,}0065 \cdot H / 288{,}15)^{5{,}25588} \quad (2)$$

2.3. Rüzgâr hızı dağılımı ve güç yoğunluğu

Pozitif rüzgâr hızlarının dağılımı iki parametreli Weibull dağılımıyla modellenmiştir [2]:

$$f(v) = (k/c) \cdot (v/c)^{k-1} \cdot exp[-(v/c)^k] \quad (3)$$

Burada k boyutsuz şekil, c (m/s) ölçek parametresidir. Sürekli Weibull dağılımı sıfırdaki olasılık kütlesini temsil etmediğinden parametreler en büyük olabilirlik (MLE) yöntemiyle [15] yalnızca v > 0 gözlemlerinden kestirilmiş (Denklem 4), sakin saatler ise p_0 = 176/8.395 = 0,02097 olasılığıyla ayrıca modellenmiştir. Böylece tüm saatlere ait q'ncu moment E(v^q) = (1 − p_0)c^qΓ(1 + q/k) ile hesaplanmıştır. Karşılaştırma için Weibull dağılımının k = 2 özel hâli olan ve pozitif hızların ortalamasıyla tanımlanan Rayleigh dağılımı da kullanılmıştır [2]. Uyum, pozitif hızların ampirik ve model birikimli dağılımları arasındaki R^2 ve RMSE ile betimsel olarak değerlendirilmiştir.

$$[\Sigma v_i^k \ln v_i / \Sigma v_i^k] - 1/k - (1/n) \Sigma \ln v_i = 0, \quad c = [(1/n) \Sigma v_i^k]^{1/k} \quad (4)$$

Ortalama güç yoğunluğu saatlik ölçümlerden doğrudan (Denklem 5) ve Weibull parametrelerinden (Denklem 6) hesaplanmıştır. Saatlik yoğunluğu kullanan Denklem (5) birincil sonuç olarak alınmıştır; Denklem (6)'da $\bar{\rho}$ yıllık ortalama yoğunluk, (1 − p_0) ise sakin saatlerin katkısıdır. Kaynak sınıflandırmasında tarihsel NREL güç yoğunluğu sınıfları [16] yalnızca karşılaştırma çerçevesi olarak kullanılmıştır.

$$P/A = (1/N) \Sigma \tfrac{1}{2} \rho_i v_i^3 \quad (5)$$

$$P/A = \tfrac{1}{2} \bar{\rho} (1 - p_0) c^3 \Gamma(1 + 3/k) \quad (6)$$

2.4. Yükseklik ekstrapolasyonu

Rüzgâr hızları üç yaklaşımla 30–120 m yüksekliklere taşınmıştır. Logaritmik yasada (Denklem 7) h_r = 10 m referans yüksekliği, z_0 yüzey pürüzlülük uzunluğudur. Havalimanı çevresi için WMO arazi sınıflandırmasındaki [13] açık düz arazi değeri z_0 = 0,03 m nominal senaryo, z_0 = 0,005 m ve 0,10 m ise duyarlılık senaryoları olarak kullanılmıştır. Üstel yasada (Denklem 8) yaygın olarak kullanılan α = 1/7 değeri [2] alınmıştır.

$$v(h) = v(h_r) \cdot \ln(h / z_0) / \ln(h_r / z_0) \quad (7)$$

$$v(h) = v(h_r) \cdot (h / h_r)^{\alpha} \quad (8)$$

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Üçüncü yaklaşım, Weibull parametrelerini doğrudan yüksekliğe taşıyan Justus–Mikhail yöntemidir [17] (Denklem 9–10). Logaritmik ve üstel yasalar her saatlik ölçüme ayrı ayrı uygulanmış; Justus–Mikhail yönteminde ise dönüşüm pozitif hızların Weibull parametrelerine uygulanmış ve sonuçlar ($1 - p_0$) ile tüm saatlere uyarlanmıştır.

$$c(h) = c_r\,(h / h_r)^n, \quad n = [0{,}37 - 0{,}088\,\ln c_r] / [1 - 0{,}088\,\ln(h_r/10)] \tag{9}$$

$$k(h) = k_r\,[1 - 0{,}088\,\ln(h_r/10)] / [1 - 0{,}088\,\ln(h/10)] \tag{10}$$

2.5. Enerji üretimi ve kapasite faktörü

Enerji hesabında IEA Wind TCP Görev 37 kapsamında geliştirilen IEA 3,4 MW karasal referans türbini kullanılmıştır [18]. Türbinin anma gücü 3,37 MW, rotor çapı 130 m, göbek yüksekliği 110 m; devreye girme, anma ve devreden çıkma hızları sırasıyla 4; 9,8 ve 25 m/s'dir. Güç eğrisi 1,225 kg/m³ hava yoğunluğu için verildiğinden, göbek yüksekliğindeki saatlik hızlar IEC 61400-12-1 [19] yoğunluk normalizasyonuyla eşdeğer hıza çevrilmiştir (Denklem 11). Yıllık enerji üretimi (YEÜ) ve kapasite faktörü (KF) Denklem (12) ile hesaplanmıştır; burada $P(v_{n,i})$ i. saatteki türbin gücü, $\bar{P}$ ortalama güç ve P_r anma gücüdür. Değerler brüttür; iz etkisi, elektriksel kayıplar ve erişilebilirlik hesaba katılmamıştır.

$$v_n = v \cdot (\rho / \rho_0)^{1/3}, \quad \rho_0 = 1{,}225\ \text{kg/m}^3 \tag{11}$$

$$YEÜ = 8784 \cdot (1/N)\,\Sigma\,P(v_{n,i}), \quad KF = \bar{P} / P_r \tag{12}$$

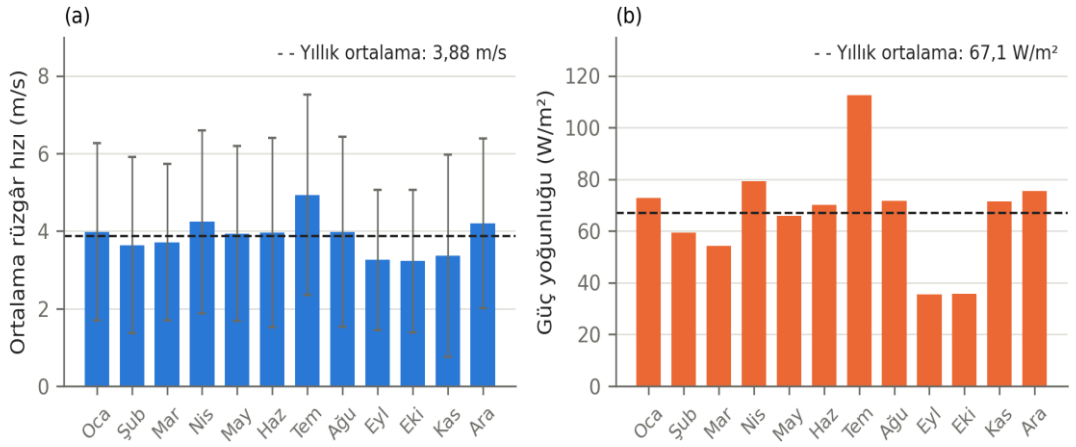
3. BULGULAR

3.1. Genel rüzgâr karakteristikleri

2024 yılında, 10 m referans yüksekliği kabulü altında yıllık ortalama rüzgâr hızı 3,88 m/s, standart sapma 2,32 m/s ve en yüksek 10 dakikalık ortalama hız 14,9 m/s'dir. Hızın 3 m/s ve üzerinde olduğu saatlerin oranı %62,8'dir. Ortalama sıcaklık 8,4 °C, ortalama istasyon basıncı 839,8 hPa ve ortalama hava yoğunluğu 1,040 kg/m³ olup yoğunluk deniz seviyesi standart değerinden yaklaşık %15 düşüktür.

Aylık ortalama hızlar ve güç yoğunlukları Görsel 1'de verilmiştir. En yüksek ortalama hız ve güç yoğunluğu Temmuz ayında (4,93 m/s; 112,7 W/m²), en düşük hız Ekim ayında (3,23 m/s), en düşük güç yoğunluğu ise Eylül ayında (35,6 W/m²) görülmektedir. Mevsimsel olarak en rüzgârlı dönem yaz (4,30 m/s), en zayıf dönem sonbahardır (3,28 m/s). Rüzgâr hızı belirgin bir günlük döngü göstermektedir: yıllık ortalamada en düşük hız 05:00'te (2,69 m/s), en yüksek hız 16:00'da (5,49 m/s) görülmekte; yaz aylarında hız 06:00'daki 2,12 m/s'den 18:00'deki 7,38 m/s'ye çıkmaktadır. Hâkim rüzgâr yönü kuzeydir; bu yön esme sıklığında %21,1, rüzgâr enerjisi payında %29,7 ile ilk sıradadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 1. 10 m referans yüksekliği kabulü altında (a) aylık ortalama rüzgâr hızı (çubuklar ±1 standart sapma aralığını gösterir) ve (b) aylık ortalama güç yoğunluğu (2024)

3.2. Weibull analizi

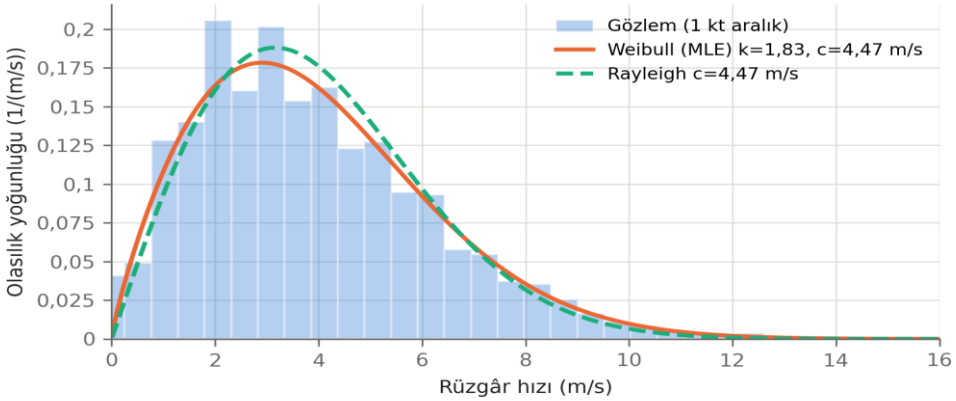
Rüzgâr hızlarının frekans dağılımı ve uydurulan dağılımlar Görsel 2'de, parametreler Çizelge 1'de verilmiştir. Pozitif hızlar için MLE ile k = 1,834 ve c = 4,466 m/s elde edilmiştir. Sakin saat olasılığı hesaba katıldığında Weibull modelinin ortalama hızı (3,89 m/s) ve güç yoğunluğu (66,7 W/m²) ölçülen değerlere (3,88 m/s; 67,1 W/m²) çok yakındır. Rayleigh modeli ortalama hızı doğru vermekle birlikte güç yoğunluğunu yaklaşık %10,1 düşük (60,3 W/m²) tahmin etmektedir. 10 m'deki 67,1 W/m² güç yoğunluğu tarihsel NREL sınıflandırmasında 1. sınıfa (< 100 W/m²) karşılık gelmektedir.

Çizelge 1. 10 m referans yüksekliği kabulü altında pozitif hızlar için dağılım parametreleri ve betimsel uyum ölçütleri

Model	k (–)	c (m/s)	$\bar{v}$ (m/s)	P/A (W/m²)	R^2	RMSE
Weibull (MLE)	1,834	4,466	3,89	66,7	0,9912	0,0288
Rayleigh	2	4,467	3,88	60,3	0,9866	0,0357
Ölçüm	–	–	3,88	67,1	–	–

Not: k ve c pozitif hızlara koşulludur. Model ortalamaları ve güç yoğunlukları sakin olasılığı (p_0 = 0,02097) ve yıllık ortalama yoğunlukla (1,040 kg/m³) tüm saatlere uyarlanmıştır. R^2 ve RMSE betimsel ölçütlerdir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 2. 10 m referans yüksekliği kabulü altındaki rüzgâr hızlarının frekans dağılımı ile pozitif hızlara uydurulan Weibull ve Rayleigh olasılık yoğunluk fonksiyonları

3.3. Farklı yüksekliklerde rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu

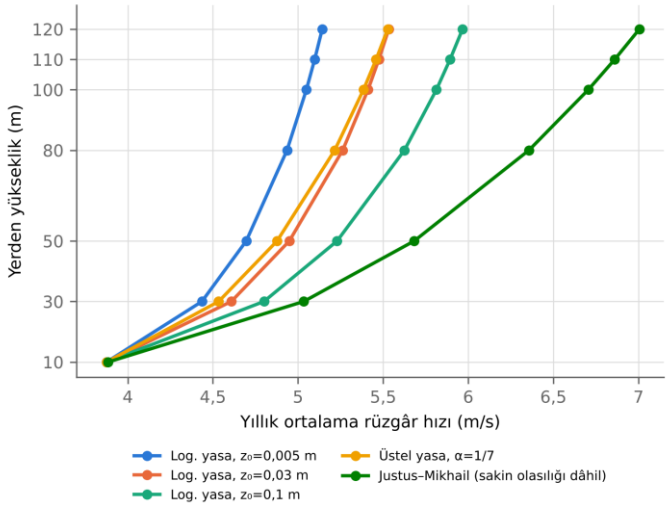
Farklı yöntemlerle hesaplanan yıllık ortalama hızlar ve güç yoğunlukları Çizelge 2'de, düşey profiller Görsel 3'te verilmiştir. Nominal senaryoda (logaritmik yasa, z_0 = 0,03 m) ortalama hız 50 m'de 4,95 m/s, 100 m'de 5,41 m/s ve 120 m'de 5,53 m/s'dir; güç yoğunluğu 10 m'den 100 m'ye yaklaşık 2,7 katına çıkmaktadır. α = 1/7 ile üstel yasa nominal senaryoya çok yakın sonuç verirken pürüzlülük senaryoları 100 m hızını 5,05–5,81 m/s aralığına taşımaktadır. Justus–Mikhail yöntemi ise 100 m'de 6,71 m/s ve 273 W/m² ile en yüksek değerleri üretmektedir. Bu yayılım, 10 m'den göbek yüksekliğine yapılan ekstrapolasyondaki yöntem ve parametre belirsizliğini göstermektedir. 50 m'de tüm senaryolar 200 W/m²'nin altında kalmakta olup nokta tarihsel sınıflandırmada 1. sınıf düzeyindedir.

Çizelge 2. Farklı yöntemlerle hesaplanan yıllık ortalama rüzgâr hızı (m/s) ve güç yoğunluğu (W/m², parantez içinde)

Yöntem	10 m	30 m	50 m	80 m	100 m	120 m
Log. yasa, z_0 = 0,005 m	3,88 (67)	4,44 (100)	4,70 (119)	4,94 (138)	5,05 (147)	5,14 (155)
Log. yasa, z_0 = 0,03 m	3,88 (67)	4,61 (113)	4,95 (139)	5,26 (167)	5,41 (181)	5,53 (193)
Log. yasa, z_0 = 0,10 m	3,88 (67)	4,80 (127)	5,23 (164)	5,63 (204)	5,81 (224)	5,97 (242)
Üstel yasa, α = 1/7	3,88 (67)	4,53 (107)	4,88 (133)	5,22 (162)	5,38 (178)	5,53 (192)
Justus–Mikhail (sakin olasılığı dâhil)	3,89 (67)	5,03 (130)	5,68 (178)	6,35 (238)	6,71 (273)	7,01 (305)

Not: Justus–Mikhail değerleri pozitif hızların Weibull parametrelerinden hesaplanmış ve sakin olasılığıyla tüm saatlere uyarlanmıştır. Güç yoğunlukları her yükseklik için ayrı hesaplanan hava yoğunluğuyla bulunmuştur. z_0 ve α ölçülmüş saha parametreleri değil, senaryo değerleridir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 3. Farklı ekstrapolasyon yöntemleriyle tahmin edilen yıllık ortalama rüzgâr hızının yükseklikle değişimi

3.4. Enerji üretimi

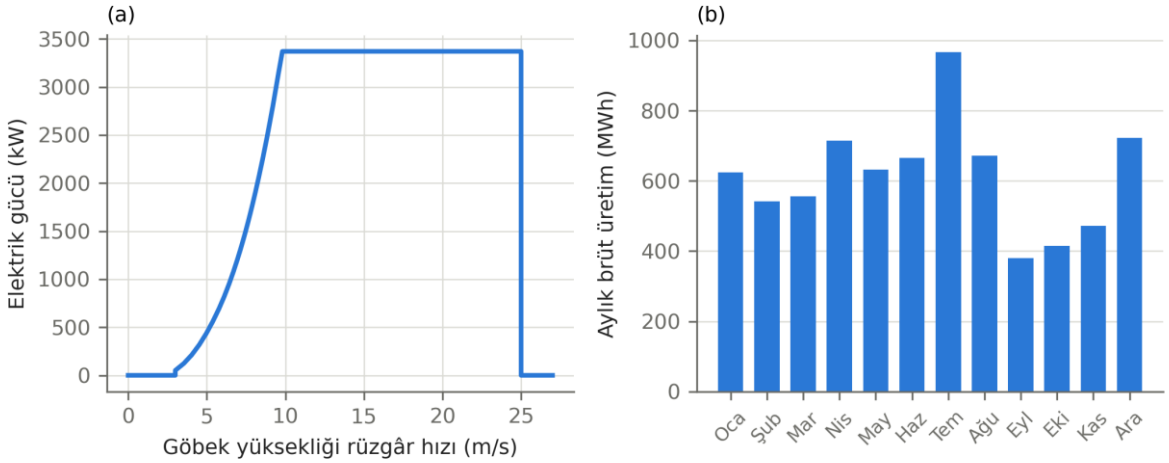
110 m göbek yüksekliğindeki brüt yıllık enerji üretimi ve kapasite faktörleri Çizelge 3'te verilmiştir. Nominal senaryoda göbek yüksekliğindeki ortalama hız 5,47 m/s, yıllık brüt üretim 7.373 MWh ve kapasite faktörü %24,9'dur. Senaryolar birlikte ele alındığında kapasite faktörü %21,4 ile %37,8 arasında değişmektedir; en düşük değer en düzgün yüzey senaryosuna (z_0 = 0,005 m), en yüksek değer Justus–Mikhail yöntemine aittir. Türbinin güç eğrisi ve nominal senaryoya göre aylık üretim Görsel 4'te verilmiştir. En yüksek üretim Temmuz (966,7 MWh), en düşük üretim Eylül ayında (379,8 MWh) elde edilmektedir.

Çizelge 3. IEA 3,4 MW referans türbini (110 m göbek yüksekliği) için brüt yıllık enerji üretimi

Yöntem	$\bar{v}_{110}$ (m/s)	YEÜ (MWh/yıl)	KF (%)	Üretim süresi (%)	Anma gücü süresi (%)
Log. yasa, z_0 = 0,005 m	5,10	6.332	21,4	71,0	6,0
Log. yasa, z_0 = 0,03 m	5,47	7.373	24,9	71,0	7,9
Log. yasa, z_0 = 0,10 m	5,89	8.521	28,8	72,4	10,7
Üstel yasa, α = 1/7	5,46	7.327	24,8	71,0	7,9
Justus–Mikhail (Weibull; sakin olasılığı dâhil)	6,86	11.178	37,8	–	–

Not: Değerler brüttür; iz etkisi, elektriksel ve erişilebilirlik kayıpları dâhil değildir. Hızların 1 kt adımlarla raporlanması, üretim süresi oranlarında senaryolar arasında basamaklı farklara yol açabilir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 4. (a) IEA 3,4 MW referans türbininin güç eğrisi (ρ = 1,225 kg/m³), (b) logaritmik yasa (z_0 = 0,03 m) ile hesaplanan aylık brüt enerji üretimi

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Havalimanı noktasında 10 m referans yüksekliği kabulü altında elde edilen 3,88 m/s ortalama hız ve 67,1 W/m² güç yoğunluğu düşük bir rüzgâr kaynağına işaret etmektedir. Bu sonuç, Sivas merkezindeki ölçümler için benzer sonuca ulaşan Duman vd. [9] ile uyumludur. Ancak çalışma tek bir noktaya dayandığından sonuçlar ilin tamamına genellenemez; Köse [10] tarafından belirlenen uygun alanlar, yerinde ölçümle sınanacak aday noktaların seçiminde kullanılabilir.

Çalışmanın en önemli bulgusu, ekstrapolasyon yönteminin enerji tahminine etkisidir: 110 m'de brüt kapasite faktörü yönteme bağlı olarak yaklaşık 1,77 katlık bir aralığa yayılmıştır. Logaritmik yasa nötr atmosfer varsayımına dayanır, sabit üslü güç yasası ise atmosferik kararlılığı ve zamansal değişimi çözmez [2,7,8]. Gözlenen belirgin günlük döngü, kararlılık etkilerinin önemli olabileceğini düşündürmektedir. Justus–Mikhail yöntemi de saha ölçümüyle doğrulanmadan kesin göbek yüksekliği tahmini olarak kullanılmamalıdır.

Çalışmanın başlıca sınırlılıkları; tek yıllık veri kullanılması, anemometre yüksekliğinin doğrulanamaması, hızların 1 kt çözünürlükle raporlanması, atmosferik kararlılığın hesaba katılmaması ve enerji değerlerinin brüt olmasıdır. Sivas'ta rüzgâr santrali planlaması için yüksek kotlu aday sahalarda göbek yüksekliğine yakın seviyelerde en az bir yıllık ölçüm direği veya lidar kampanyası yürütülmesi ve bu ölçümlerin çok yıllık referans serilerle uzun dönem düzeltmesine tabi tutulması önerilmektedir. Gelecek çalışmalarda Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün çok yıllık resmî verileri, ildeki diğer istasyonlar ve yeniden analiz verileriyle karşılaştırma kullanılarak sonuçların sağlamlığı artırılabilir.

KAYNAKÇA

[1] TÜREB. 2026. Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu – Özet Versiyon, Ocak 2026. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği. https://cdn.tureb.tr/storage/20260206/019c31ca-5c41-7117-a241-a0f5363a1553.pdf (Erişim Tarihi: 27.09.2026).

[2] Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L. 2009. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application. 2nd ed., John Wiley & Sons, Chichester.

[3] Dinçer F., Rüstemli S., Yılmaz Ş., Çıngı A. 2017. Kilis İli İçin Farklı Yüksekliklerdeki Rüzgâr Potansiyelinin Belirlenmesi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(1): 12-20. https://doi.org/10.17798/bitlisfen.298458

[4] Akpinar E.K., Akpinar S. 2004. Statistical analysis of wind energy potential on the basis of the Weibull and Rayleigh distributions for Agin-Elazig, Turkey. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 218(8): 557-565. https://doi.org/10.1243/0957650042584357

[5] Ucar A., Balo F. 2009. Evaluation of wind energy potential and electricity generation at six locations in Turkey. Applied Energy, 86(10): 1864-1872. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.12.016

[6] Oral F. 2024. Comparative analysis of different methods in estimating wind speed distribution, and evaluation of large-scale wind turbine performance in Rahva-Bitlis, Turkey. IET Renewable Power Generation, 18(1): 95-108. https://doi.org/10.1049/rpg2.12898

[7] Liu H., Chen G., Hua Z., Zhang J., Wang Q. 2024. Wind Shear Model Considering Atmospheric Stability to Improve Accuracy of Wind Resource Assessment. Processes, 12(5): 954. https://doi.org/10.3390/pr12050954

[8] Yang X., Jiang X., Liang S., Qin Y., Ye F., Ye B., Xu J., He X., Wu J., Dong T., Cai X., Xu R., Zeng Z. 2024. Spatiotemporal variation of power law exponent on the use of wind energy. Applied Energy, 356: 122441. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122441

[9] Duman N., Acar H.İ., Ertürk L. 2025. Estimation of wind power potential in Sivas Cumhuriyet University campus using various probability density functions. The European Physical Journal Plus, 140: 314. https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-025-06242-y

[10] Köse D.D. 2024. Rüzgâr enerjisi santral yerlerinin coğrafi bilgi sistemi ve analitik hiyerarşi süreci ile belirlenmesi: Sivas ili örneği. Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi, 6(1): 14-23. https://doi.org/10.56130/tucbis.1388095

[11] Smith A., Lott N., Vose R. 2011. The Integrated Surface Database: Recent developments and partnerships. Bulletin of the American Meteorological Society, 92(6): 704-708. https://doi.org/10.1175/2011BAMS3015.1

[12] ICAO. 2018. Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation: Meteorological Service for International Air Navigation. 20th ed., International Civil Aviation Organization, Montréal.

[13] WMO. 2018. Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8), Volume I – Measurement of Meteorological Variables. 2018 ed., World Meteorological Organization, Geneva.

[14] ICAO. 1993. Manual of the ICAO Standard Atmosphere (Doc 7488). 3rd ed., International Civil Aviation Organization, Montréal.

[15] Seguro J.V., Lambert T.W. 2000. Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 85(1): 75-84. https://doi.org/10.1016/S0167-6105(99)00122-1

[16] Elliott D.L., Holladay C.G., Barchet W.R., Foote H.P., Sandusky W.F. 1986. Wind Energy Resource Atlas of the United States. DOE/CH 10093-4, Solar Energy Research Institute, Golden, CO.

[17] Justus C.G., Mikhail A. 1976. Height variation of wind speed and wind distributions statistics. Geophysical Research Letters, 3(5): 261-264. https://doi.org/10.1029/GL003i005p00261

[18] Bortolotti P., Canet Tarrés H., Dykes K., Merz K., Sethuraman L., Verelst D., Zahle F. 2019. IEA Wind TCP Task 37: Systems Engineering in Wind Energy – WP2.1 Reference Wind Turbines. NREL/TP-5000-73492, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO.

[19] IEC. 2017. IEC 61400-12-1:2017 Wind energy generation systems – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines. International Electrotechnical Commission, Geneva.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

PHOCATALYTIC REMOVAL OF METHYLENE BLUE DYE BY USING METAL OXIDE SUPPORTED BIMETALLIC MOF

Dr., NERGİZ KANMAZ
Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Yalova 77200, Turkiye, nergizkanmaz@gmail.com - 0000-0002-5598-4911
Doç. Dr., ÖZLEM TUNA
Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Yalova 77200, Turkiye, ozlemmtuna@gmail.com - 0000-0003-1641-4155
Prof. Dr., PELİN DEMİRÇİVİ
Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Yalova 77200, Turkiye, pelin.demircivi@yalova.edu.tr - 0000-0002-1068-9310

ABSTRACT

In this study, bimetallic FeTiMOF and MnO_2-modified FeTiMOF (M-FeTiMOF) were synthesised, and their photocatalytic performance for the removal of methylene blue (MB) was investigated under visible light irradiation. The catalysts were characterised by FTIR and scanning electron microscopy (SEM). FTIR analysis confirmed the characteristic functional groups and metal–oxygen bonds of the synthesised material, whilst SEM observations indicated the formation and distribution of MnO_2 particles on the FeTiMOF surface. Prior to the photocatalytic experiments, the adsorption–desorption equilibrium was established in the dark for 30 minutes, resulting in MB removal efficiencies of 31.56% for FeTiMOF and 41.76% for M-FeTiMOF. Under visible light irradiation, the removal efficiency increased progressively with irradiation time. After 120 minutes, MB removal efficiencies of 86.77% and 95.57% were achieved using FeTiMOF and M-FeTiMOF, respectively. The superior performance of M-FeTiMOF at all irradiation times investigated demonstrates that the incorporation of MnO_2 significantly enhances the photocatalytic activity of FeTiMOF. These results indicate that M-FeTiMOF is a promising photocatalyst for the effective removal of methylene blue from aqueous solutions.

Keywords: Bimetallic MOF, Photodegradation, MnO2-based composite, Methylene blue.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

1. INTRODUCTION

Synthetic dyes, which are widely used in industries such as textiles, paints, paper and leather, are released into wastewater in significant quantities during production processes and cause serious pollution in receiving water bodies. The fact that cationic and anionic dyes, particularly methylene blue, reduce light penetration in aquatic ecosystems thereby inhibiting photosynthesis, their resistance to biodegradation, and the toxic and carcinogenic effects exhibited by some types, make the treatment of these pollutants an environmental priority [1]. Consequently, research into the development of low-cost, high-efficiency treatment methods has been increasing steadily in recent years.

Whilst numerous methods such as coagulation, membrane filtration, advanced oxidation and biological treatment are employed for the removal of colouring substances, adsorption continues to be one of the most preferred techniques due to its ease of operation, low cost and applicability to a wide range of pollutants [2]. As the performance of adsorbent materials depends largely on their surface area, pore structure and surface functional groups, mesoporous silica-based materials have recently emerged as effective adsorbents owing to their high specific surface areas, regular and tunable pore sizes, thermal stability and structures amenable to surface modification. These materials are generally synthesised using the sol-gel method with block copolymer template agents such as Pluronic P123, and the resulting mesoporous structure provides high adsorption capacities for the removal of various dyes from aqueous media [3,4]. In this study, mesoporous silica was synthesised using the sol-gel method with Pluronic P123 as the template agent, and its structural characterisation was carried out by FT-IR analysis. The adsorption performance of the synthesised material in the removal of methylene blue was investigated under different initial concentrations and contact times; furthermore, its applicability to dyes with different structural properties, such as rhodamine B, malachite green and sunset yellow, was evaluated in an attempt to determine the material's dye selectivity and overall adsorption potential.

2. METHODS

2.1. FeTiMOF and M-FeTiMOF synthesis

2.5 mmol of $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ and 1.3 mmol of terephthalic acid were dissolved in 30 mL of DMF. In a separate vessel, 6.34 mmol of TTIP and 9 mmol of terephthalic acid were dissolved in 20 mL of DMF; the two solutions were then combined and stirred for 30 minutes. The mixture was transferred to a Teflon-lined autoclave and hydrothermally synthesized at 120 °C

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

for 24 hours. The resulting FeTiMOF was filtered, washed three times with hot DMF and dried under vacuum at 70 °C for 24 hours.

M-FeTiMOF was prepared using the redox precipitation method. 2.7 g of FeTiMOF was added to 50 mL of a 10 mM $MnCl_2$ solution and stirred for 30 minutes, after which 3.2 g of $KMnO_4$ was added. After stirring the suspension for 2 hours, it was filtered and the filtrate was washed until it became colourless. The resulting M-FeTiMOF was dried at 60 °C for 24 hours. The synthesis steps are shown schematically in Figure 1.

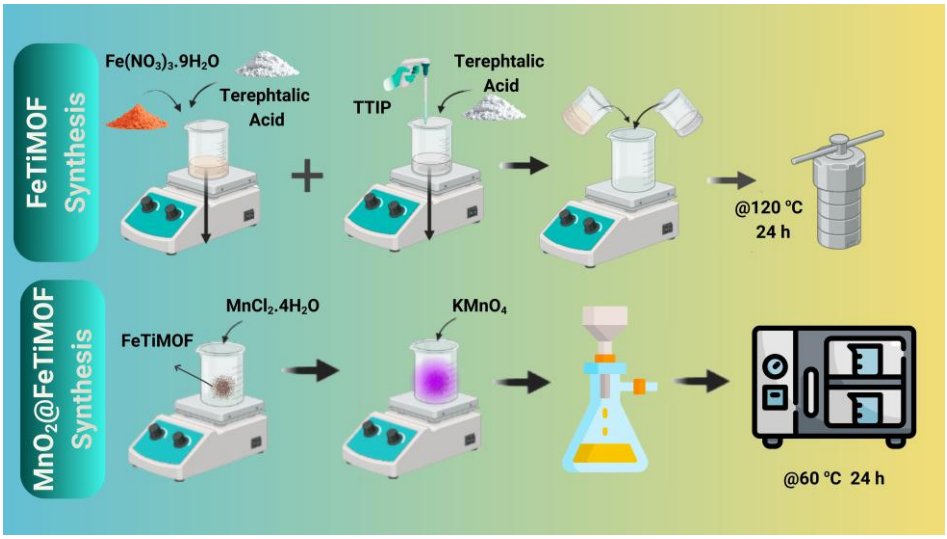


Figure 1. Synthesis scheme of FeTiMOF and M-FeTiMOF catalysts.

2.2. Characterization of catalysts

The surface functional groups and bindings of M-FeTiMOF was investigated via FT-IR analysis (Perkin Elmer). The surface morphology of sample as identified by using scanning electron microscopy (SEM, Carl Zeiss 300VP).

2.3. Photodegradation studies of MB

10 mg of FeTiMOF and M-FeTiMOF catalysts were weighed into a 100 mL Erlenmeyer flask. 50 mL of an MB solution with a concentration of 10 mg/L was added to them. In order to establish the adsorption–desorption equilibrium of the system, the mixtures were stirred in the dark for 30 minutes before being exposed to visible light, and 3 mL of solution was sampled at specific intervals (30, 60 and 120 minutes). At the end of the period, the samples were filtered through 0.45-micron filters to separate them from the solids, and their absorbances were measured at 665 nm using a UV-Vis spectrophotometer.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3. RESULTS AND DISCUSSION

The FTIR spectrum of M-FeTiMOF shown in Figure 2 indicates that the material contains characteristic vibrations associated with organic ligands and metal–oxygen bonds. The broad band around 3400 cm^{-1} can be attributed to the presence of –OH groups on the surface and adsorbed water molecules, whilst the weak bands around 2900 cm^{-1} indicate C–H stretching vibrations associated with the organic structure. The distinct bands in the 1600–1400 cm^{-1} range can be attributed to C=O/C–O vibrations in the carboxylate groups of terephthalic acid and support the coordination of the organic ligand with the metal centres. The vibrations in the 1200–1000 cm^{-1} region, on the other hand, can be attributed to C–O bonds and ligand vibrations within the MOF structure. In particular, the distinct vibrations below 700 cm^{-1} can be associated with the formation of metal–oxygen bonds such as Fe–O, Ti–O and Mn–O.

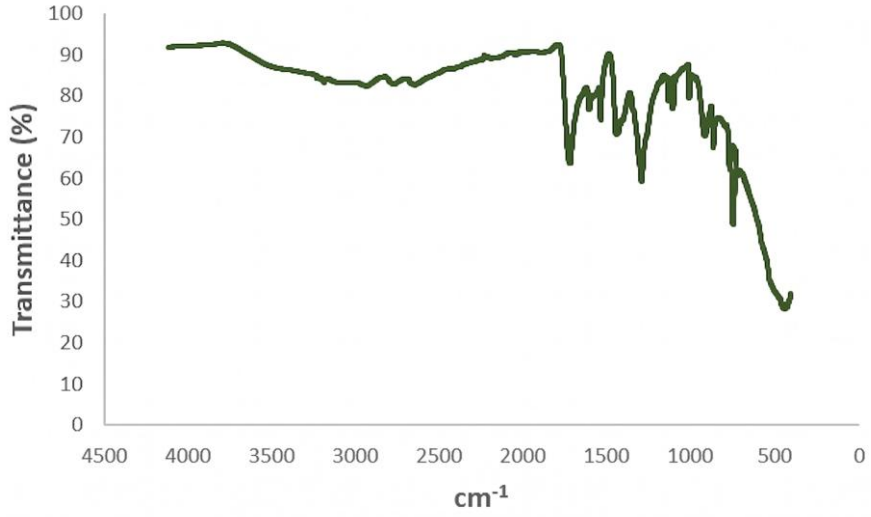


Figure 2. FTIR spectrum of M-FeTiMOF.

Considering the SEM image of the M-FeTiMOF in Figure 3, the material possesses a distinct surface morphology consisting of heterogeneous and agglomerated particles. It is notable that many small particles are densely accumulated on the surface of the larger, relatively smooth-surfaced MOF crystals. These small particles can be considered to belong to the MnO_2 phase formed on the FeTiMOF surface via the redox precipitation process. The widespread distribution of MnO_2 particles on the MOF surface supports the successful formation of the composite structure. Furthermore, the particulate and rough surface morphology suggests that the material may offer advantages in terms of high surface area and accessible active sites, and that these properties may contribute to the catalytic performance in the photocatalytic removal of MB.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

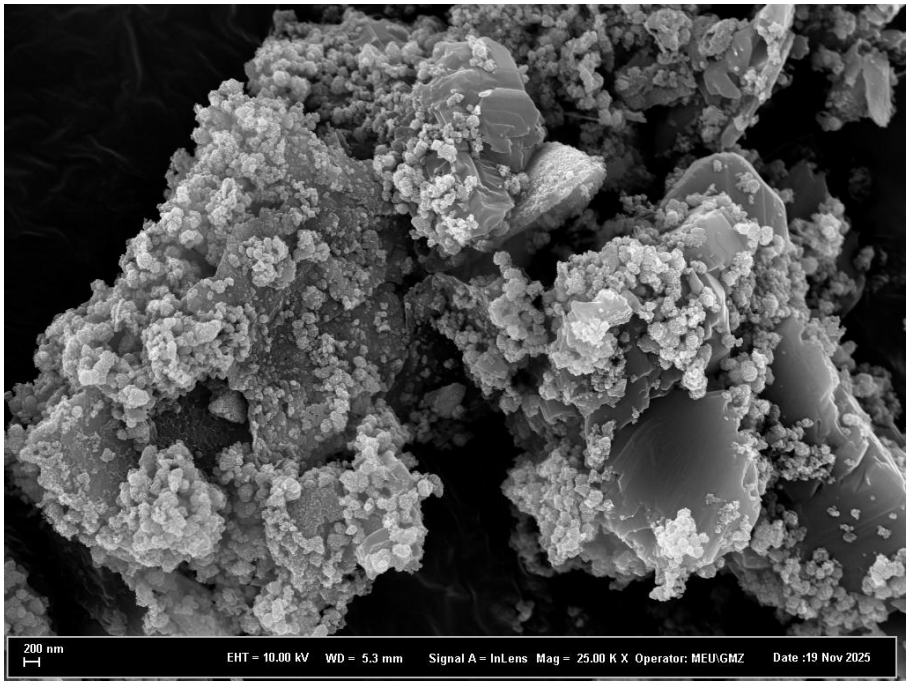


Figure 3. SEM image of M-FeTiMOF.

Figure 4 compares the performance of the FeTiMOF and M-FeTiMOF catalysts in the photocatalytic removal of MB. The fact that removal rates of 31.46% and 41.76% were achieved for FeTiMOF and M-FeTiMOF, respectively, after 30 minutes in the dark indicates that significant adsorption took place in both materials prior to irradiation. Under visible light, the removal rate increased over time for both catalysts; for FeTiMOF, it was determined to be 61.99%, 75.35% and 86.77% at 30, 60 and 120 minutes, respectively, whilst for M-FeTiMOF, it was 76.22%, 90.20% and 95.57%. The fact that M-FeTiMOF exhibited higher removal efficiency than FeTiMOF throughout all experimental time periods demonstrates that the MnO_2 modification significantly enhances photocatalytic activity. In particular, the achievement of 95.57% removal with M-FeTiMOF at the end of 120 minutes demonstrates that the MnO_2@FeTiMOF composite is a high-performance catalyst for the photocatalytic degradation of MB.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

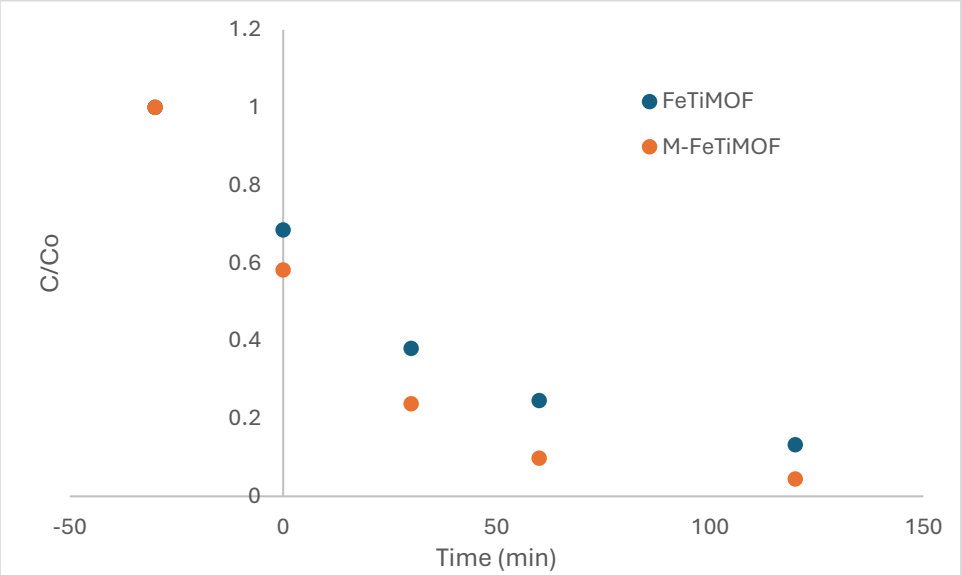


Figure 4. Photocatalytic degradation of MB dye.

4. CONCLUSION

In this study, bimetallic FeTiMOF and MnO_2-supported FeTiMOF (M-FeTiMOF) were synthesised, and their performance in the photocatalytic removal of MB was investigated. FTIR analyses confirmed the presence of characteristic functional groups and metal–oxygen bonds in the FeTiMOF structure, whilst SEM images revealed the formation of MnO_2 particles on the FeTiMOF surface. Photocatalytic experiments showed that M-FeTiMOF exhibited higher MB removal performance compared to FeTiMOF. After 120 minutes, MB removal of 86.77% was achieved with FeTiMOF and 95.57% with M-FeTiMOF. Furthermore, the fact that M-FeTiMOF exhibited higher adsorption in the dark indicates that MB was effectively retained on the surface prior to the photocatalytic process. It was concluded that the MnO_2 modification improves the surface properties and photocatalytic activity of FeTiMOF, and that the resulting M-FeTiMOF composite can be considered an effective photocatalyst for the treatment of MB-containing water.

REFERENCES

[1] Salahshoor, Z., Shahbazi, A. (2014). Review of the use of mesoporous silicas for removing dye from textile wastewater. European Journal of Environmental Sciences, 4(2).

[2] Safitri, W.N., Habiddin, H., Ulfa, M., Trisunaryanti, W., Bahruji, H., Holilah, H., Rohmah, A.A., Sholeha, N.A., Jalil, A.A., Santoso, E., Prasetyoko, D. (2023). Dual

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

template using P123-gelatin for synthesized large mesoporous silica for enhanced adsorption of dyes. South African Journal of Chemical Engineering, 43, 312-326.

[3] Dhaneswara, D., Zulfikar, N., Fatriansyah, J.F., Mastuli, M.S., Suhariadi, I. (2023). Adsorption Capacity of Mesoporous SBA-15 Particles Synthesized from Corncobs and Rice Husk at Different CTAB/P123 Ratios and Their Application for Dyes Adsorbent. Evergreen, 10(2), 924-930.

[4] Sukirna, I., Dhaneswara, D., Siregar, D.J., Fatriansyah, J.F., Sofyan, N., Yuwono, A.H., Muslih, R. (2024). Synthesis of Mesoporous Silica from Sugarcane Bagasse Ash Using Pluronic 123 as a Colorant Adsorbent for Brilliant Green. Evergreen, 11(2), 1366-1374.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

METHYLENE BLUE REMOVAL PERFORMANCES USING MESOPOROUS SILICA

Dr., NERGİZ KANMAZ
Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Yalova 77200, Turkiye, nergizkanmaz@gmail.com - 0000-0002-5598-4911
Doç. Dr., ŞEYDA KARADİREK
Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Yalova 77200, Turkiye, skaradirek88@gmail.com - 0000-0002-8691-0712
Prof. Dr., PELİN DEMİRÇİVİ
Yalova University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Yalova 77200, Turkiye, pelin.demircivi@yalova.edu.tr - 0000-0002-1068-9310

ABSTRACT

In this study, mesoporous silica was synthesized using Pluronic P123 as a template and its adsorption performance for dye removal from aqueous solutions was investigated. The synthesized material was characterized by FTIR, which confirmed the characteristic Si–O–Si and Si–O bonds of the silica structure. Methylene blue (MB) adsorption experiments were performed at different initial concentrations and contact times. The adsorption capacity increased with increasing MB concentration and reached approximately 30-31 mg/g at higher equilibrium concentrations. The time-dependent experiments showed rapid adsorption during the initial stage, followed by a gradual decrease in the adsorption rate, with equilibrium being approached after approximately 90-120 min. The applicability of mesoporous silica for different dye pollutants was also evaluated using Rhodamine B (RB), malachite green (MG), and sunset yellow (SY). The removal efficiencies were approximately 52%, 82%, and 36% for RB, MG, and SY, respectively. Overall, the results demonstrate that mesoporous silica has significant potential as an effective adsorbent for dye removal, particularly for malachite green and methylene blue from aqueous solutions.

Keywords: Mesoporous silica, Adsorption, Methylene blue.

2. INTRODUCTION

Synthetic dyes, which are widely used in industries such as textiles, paints, paper and leather, are released into wastewater in significant quantities during production processes and cause

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

serious pollution in receiving water bodies. The fact that cationic and anionic dyes, particularly methylene blue, reduce light penetration in aquatic ecosystems thereby inhibiting photosynthesis, their resistance to biodegradation, and the toxic and carcinogenic effects exhibited by some types, make the treatment of these pollutants an environmental priority [1]. Consequently, research into the development of low-cost, high-efficiency treatment methods has been increasing steadily in recent years.

Whilst numerous methods such as coagulation, membrane filtration, advanced oxidation and biological treatment are employed for the removal of colouring substances, adsorption continues to be one of the most preferred techniques due to its ease of operation, low cost and applicability to a wide range of pollutants [2]. As the performance of adsorbent materials depends largely on their surface area, pore structure and surface functional groups, mesoporous silica-based materials have recently emerged as effective adsorbents owing to their high specific surface areas, regular and tunable pore sizes, thermal stability and structures amenable to surface modification. These materials are generally synthesised using the sol-gel method with block copolymer template agents such as Pluronic P123, and the resulting mesoporous structure provides high adsorption capacities for the removal of various dyes from aqueous media [3,4]. In this study, mesoporous silica was synthesised using the sol-gel method with Pluronic P123 as the template agent, and its structural characterisation was carried out by FT-IR analysis. The adsorption performance of the synthesised material in the removal of methylene blue was investigated under different initial concentrations and contact times; furthermore, its applicability to dyes with different structural properties, such as rhodamine B, malachite green and sunset yellow, was evaluated in an attempt to determine the material's dye selectivity and overall adsorption potential.

2. METHODS

2.1. Mesoporous silica synthesis and FTIR analysis

4 g of Pluronic P123 (poly(ethylene oxide) (PEO) and poly(propylene oxide)) was weighed into a beaker, 30 mL of distilled water and 70 mL of 0.29 M HCl solution were added and mixed. 9 mL of tetraethyl orthosilicate (TEOS) was added dropwise and mixed for 24 hours, then transferred to a Teflon-lined stainless steel hydrothermal reactor. It was held at 100 °C for 48 hours. It was filtered through filter paper, dried at 80 °C, and then held in a ceramic muffle furnace in a boat-shaped container at 550 °C for 6 hours at a heating rate of 2 °C/min. The

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

surface functional groups and bindings of mesoporous silica was identified via FT-IR analysis (Perkin Elmer).

2.2. MB removal studies

10 mg of mesoporous silica was weighed into centrifuge tubes, 10 mL of 10-250 mg/L MB solution was added, and the mixture was shaken in a rotator at 15 rpm. In time-effect experiments, 10 mL of solution and 50 mg/L MB were shaken with 10 mg of adsorbent for 2-150 minutes. Its performance in removing different types of pollutants was studied by shaking 10 mL of solution with 50 mg/L rhodamine b, sunset yellow, and malachite green solutions with 10 mg of MS. At the end of the period, the samples were filtered through 0.45-micron filters to separate them from the solids, and MB absorbances were measured at 665 nm using a UV-Vis spectrophotometer.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In Figure 1, an examination of the FTIR spectrum of mesoporous silica reveals that the distinct and intense band observed at approximately 1056 cm^{-1} corresponds to the asymmetric stretching vibrations of the Si–O–Si bonds in the silica structure. The band around 802 cm^{-1} can be attributed to the symmetric stretching vibrations of the Si–O–Si bonds. Furthermore, the band observed at approximately 446 cm^{-1} indicates the bending vibrations of the Si–O bonds. A weak, broad band around 3400 cm^{-1} and a possible signal around 1630 cm^{-1} in the spectrum can be attributed to O–H stretching and H–O–H bending vibrations associated with water adsorbed on the surface. These characteristic bands indicate that the synthesized material possesses a siloxane (Si–O–Si) network as its backbone and that a successful mesoporous silica structure has been formed.

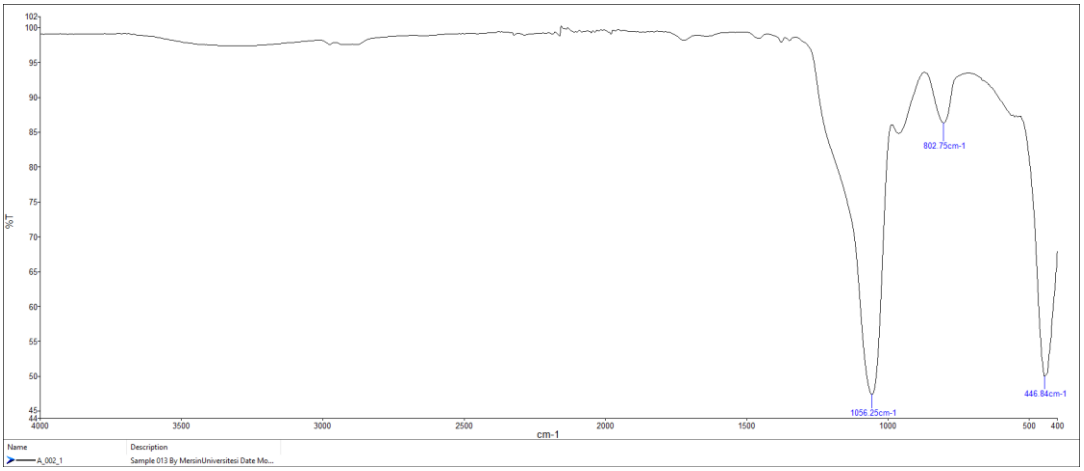


Figure 1. FTIR spectrum of mesoporous silica.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Figure 2 shows the adsorption behaviour of mesoporous silica at different initial MB concentrations. It can be seen that as the initial concentration increases, the qe value rises rapidly; the adsorption capacity, which varies between approximately 5-17 mg/g at low concentrations, reaches levels of 25-30 mg/g as the concentration increases. After approximately 50 mg/L, the increase in the qe value slows down significantly, plateauing at around 30–31 mg/g, indicating that the active adsorption sites on the adsorbent surface are gradually reaching saturation. This behaviour demonstrates that, at high MB concentrations, the adsorption capacity approaches equilibrium due to the limited number of active sites, and that mesoporous silica is an effective adsorbent for MB removal.

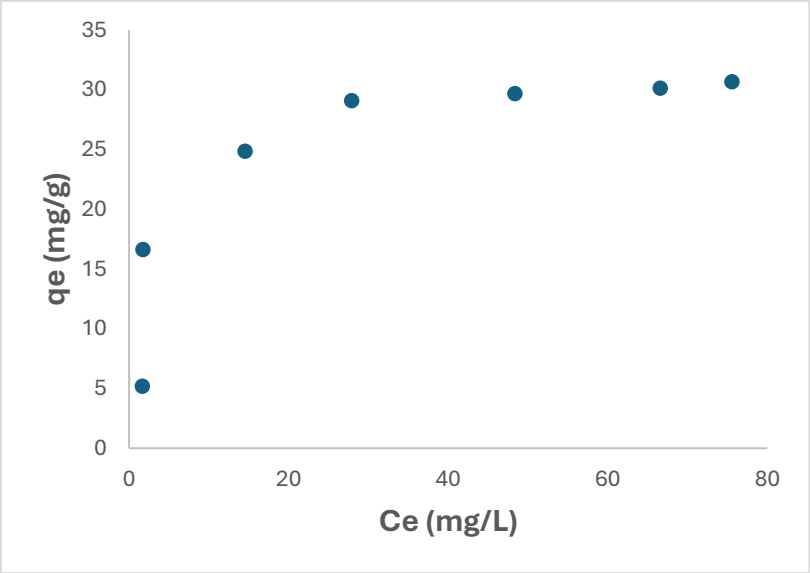


Figure 2. Isotherm graph of MB adsorption.

When the change in MB adsorption over time is examined in Figure 3, the adsorption rate is quite high in the first few minutes and that the qt value rises rapidly from approximately 54 mg/g to levels of 60 mg/g. As time progresses, the adsorption rate gradually decreases, and the qt values show a slower increase within the range of approximately 60-70 mg/g. The fact that the change in adsorption capacity becomes quite limited after approximately 60-90 minutes indicates that the active sites on the adsorbent surface are largely saturated and that the system is approaching adsorption equilibrium. Reaching a qt value of approximately 72 mg/g at 150 minutes suggests that mesoporous silica possesses a high adsorption capacity for MB and that equilibrium is reached within approximately 90-120 minutes.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

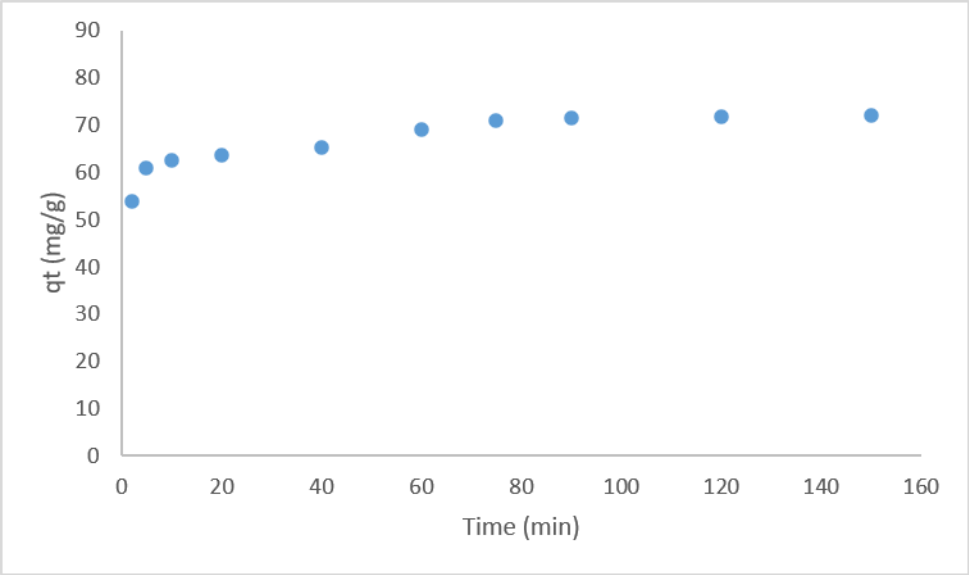


Figure 3. Time-dependent MB adsorption rate.

Figure 4 compares the performance of mesoporous silica in removing different types of dyes. Under the same experimental conditions, malachite green (MG) showed the highest removal efficiency at approximately 82%, followed by Rhodamine B (RB) at approximately 52%. Sunset Yellow (SY) showed a removal efficiency of approximately 36%. This difference between the pollutants may be due to differences in the molecular structure, charge properties, molecular size of the dye molecules, and the electrostatic and surface interactions they undergo with the active sites on the adsorbent surface. The high removal efficiency of MG, in particular, indicates that mesoporous silica can establish stronger interactions with this dye and exhibit selective adsorption behavior among different dye types.

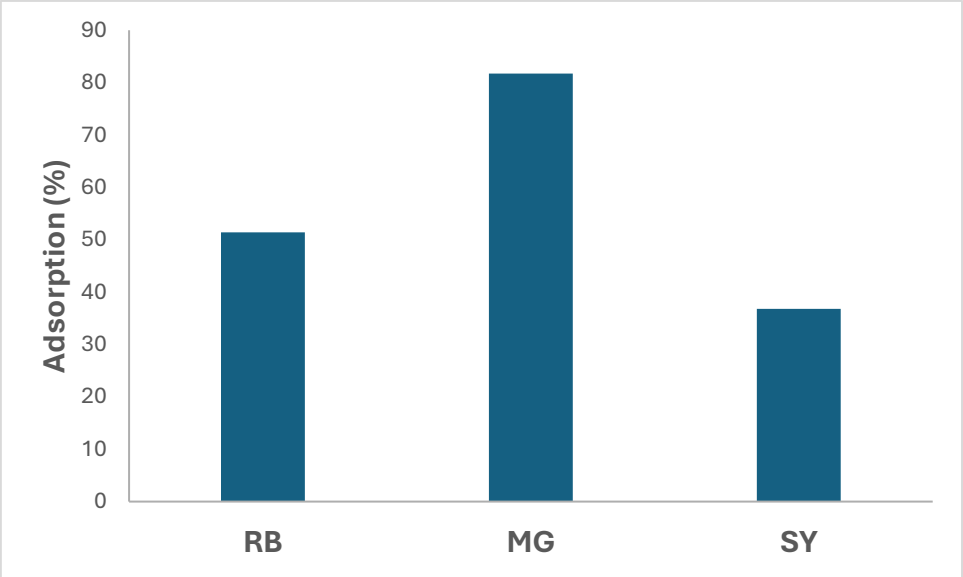


Figure 4. The removal performances of MS sorbent.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

4. CONCLUSION

In this study, the adsorption performance of mesoporous silica, synthesized using a Pluronic P123 template, in dye removal was investigated. FTIR analysis demonstrated that the silica structure, containing the characteristic Si–O–Si and Si–O bonds, had been successfully formed. In MB adsorption experiments, it was determined that the adsorption capacity increased with rising initial concentration and approached equilibrium at levels of approximately 30-31 mg/g. In the time-course experiments, it was observed that following rapid initial adsorption, the adsorption rate decreased and equilibrium conditions were approached after approximately 90-120 minutes. Among the different dye types, the highest removal efficiency was found for MG at approximately 82%, followed by RB (52 %) and SY (36%). The results obtained demonstrate that the synthesized mesoporous silica is an effective and promising adsorbent, particularly for the removal of the cationic dye malachite green.

REFERENCES

[1] Salahshoor, Z., Shahbazi, A. (2014). Review of the use of mesoporous silicas for removing dye from textile wastewater. European Journal of Environmental Sciences, 4(2), 6382-6389.

[2] Safitri, W.N., Habiddin, H., Ulfa, M., Trisunaryanti, W., Bahruji, H., Holilah, H., Rohmah, A.A., Sholeha, N.A., Jalil, A.A., Santoso, E., Prasetyoko, D. (2023). Dual template using P123-gelatin for synthesized large mesoporous silica for enhanced adsorption of dyes. South African Journal of Chemical Engineering, 43, 312-326.

[3] Dhaneswara, D., Zulfikar, N., Fatriansyah, J.F., Mastuli, M.S., Suhariadi, I. (2023). Adsorption Capacity of Mesoporous SBA-15 Particles Synthesized from Corncobs and Rice Husk at Different CTAB/P123 Ratios and Their Application for Dyes Adsorbent. Evergreen, 10(2), 924-930.

[4] Sukirna, I., Dhaneswara, D., Siregar, D.J., Fatriansyah, J.F., Sofyan, N., Yuwono, A.H., Muslih, R. (2024). Synthesis of Mesoporous Silica from Sugarcane Bagasse Ash Using Pluronic 123 as a Colorant Adsorbent for Brilliant Green. Evergreen, 11(2), 1366-1374.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

BİYOGAZDAKİ HİDROJEN SÜLFÜR VE SİLOKSANLARIN GİDERİMİNDE METAL OKSİT TABANLI NANOKOMPOZİTLER: PERFORMANS, SEÇİCİLİK VE REJENERASYONA YÖNELİK DENEYSEL ARAŞTIRMA TASARIMI

Tülin ALDIRMAZ EMANET

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Nanobilim ve Nanoteknoloji Ana Bilim Dalı

E-posta: tulinaldirmaz@icloud.com - ORCID ID: 0009-0000-2830-1874

Prof. Dr. Mustafa CAN

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri

E-posta: mustafa.can@ikcu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1749-8293

ÖZET

Bu çalışmada, biyogazdaki hidrojen sülfür (H_2S) ve uçucu metilsiloksanların gideriminde CuO, ZnO, demir oksit ve TiO_2 tabanlı nanokompozit adsorbanların performans, seçicilik ve rejenerasyon özelliklerini karşılaştırmaya yönelik deneysel bir araştırma tasarımı sunulmaktadır. Çalışmanın odağı, malzeme özellikleri ile tekli ve çok bileşenli gaz ortamındaki giderim davranışı arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesidir. İlk karşılaştırmada ortak destek, aynı hedef aktif faz yüklemesi ve tanecik aralığı esas alınacak; aktif faz içermeyen destek referans olarak kullanılacaktır. Malzemelerin yüzey alanı, gözenek yapısı, faz bileşimi ve morfolojisi uygun karakterizasyon yöntemleriyle incelenecektir. Deneyler, giriş ve çıkış derişimlerinin izlendiği tek kolonlu bir sabit yatak düzeneğinde yürütülecektir. İlk aşamada H_2S ve D4 ayrı ayrı ve birlikte değerlendirilecek; seçilen adaylarda nem etkisi ve yeniden kullanım araştırılacaktır. H_2S uygun bir gaz analizörüyle, siloksanlar doğrulanmış GC-MS veya GC-FID yöntemiyle ölçülecektir. Performans, ortak kırılma ölçütündeki dinamik kapasite üzerinden; çok bileşenli davranış ise bileşenlerin kırılma eğrileri ve kapasite değişimleriyle değerlendirilecektir. Bu göstergeler termodinamik denge seçiciliği olarak yorumlanmayacaktır. Rejenerasyon, malzemeye uygun koşullarda tekrarlanan kullanımlardaki kapasite korunumu üzerinden incelenecektir. Çalışma deneysel sonuç içermeyen bir araştırma tasarımıdır; malzemeler arasında üstünlük veya rejenerasyon başarısı ileri sürülmemektedir. Önerilen yaklaşımın, nanokompozitlerin karşılaştırılabilir koşullarda değerlendirilmesine ve biyogaz arıtımı için malzeme seçimine bilimsel temel sağlaması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz arıtımı; metal oksit nanokompozitleri; hidrojen sülfür; uçucu metilsiloksanlar; seçicilik; rejenerasyon.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

RELATIONSHIP BETWEEN PHYSICAL GEOMETRY AND BLANCHING QUALITY PARAMETERS IN TURKISH HAZELNUT CULTIVARS (CVS. TOMBUL AND PALAZ).

Prof. Dr. Saim Zeki BOSTAN

Ordu University Faculty of Agriculture, Department of Horticulture

Cumhuriyet Campus, 52200, Altınordu, Ordu, TÜRKİYE

szbostan@hotmail.com

ORCID: 0000-0001-6398-1916

ABSTRACT

Kernel geometry is closely associated with processing behavior and may contribute to variation in hazelnut blanching performance. In this study, the relationships between kernel geometric characteristics and blanching performance were evaluated in the Turkish hazelnut cultivars ‘Tombul’ and ‘Palaz’ using descriptive statistics, Pearson correlation analysis, and principal component analysis (PCA). The examined variables included shape index, compression index, aspect ratio, elongation index, arithmetic and geometric mean diameters, sphericity, surface area, volume, whole blanching, and average blanching. ‘Palaz’ exhibited higher mean values for shape index, aspect ratio, arithmetic mean diameter, geometric mean diameter, sphericity, surface area, volume, and whole blanching, whereas ‘Tombul’ showed higher mean compression and elongation indices and a markedly higher average blanching rate. In ‘Tombul’, whole blanching was not significantly correlated with any geometric parameter, while average blanching showed positive associations with compression index, arithmetic mean diameter, geometric mean diameter, sphericity, and surface area, and a negative association with elongation index. In ‘Palaz’, whole blanching was positively correlated with compression index and negatively correlated with arithmetic mean diameter, geometric mean diameter, sphericity, surface area, and volume; no significant association was detected between average blanching and the examined geometric traits. PCA further indicated that size-related variables dominated the first principal component in both cultivars, although the relationships between blanching traits and kernel geometry differed markedly between ‘Tombul’ and ‘Palaz’. These findings demonstrate cultivar-dependent associations between kernel geometry and blanching behavior and indicate that geometric descriptors can provide useful complementary information for interpreting hazelnut processing quality.

Keywords: *Corylus avellana*, Kernel, Pellicle removal, Physical, Biometric parameter

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

‘ÇAKILDAK’ VE ‘FOŞA’ FINDIK ÇEŞİTLERİNDE İÇ MEYVE BİYOMETRİK ÖZELLİKLERİ İLE BEYAZLAMA ORANLARI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ANALİZİ: KORELASYON VE TEMEL BİLEŞEN YAKLAŞIMI

ÖZET

Fındık iç meyvesinin geometrik özellikleri, işleme davranışı ile yakından ilişkili olup, fındığın kavlatma ve beyazlatma performansındaki varyasyonun açıklanmasına katkı sağlayabilir. Bu araştırmada, Türk fındık çeşitleri ‘Tombul’ ve ‘Palaz’da iç meyve biyometrik özellikleri ile beyazlatma performansı arasındaki ilişkiler; tanımlayıcı istatistikler, Pearson korelasyon analizi ve temel bileşen analizi (PCA) kullanılarak incelenmiştir. İncelenen özellikler şekil indeksi, sıkıştırma indeksi, en-boy oranı, uzama indeksi, aritmetik ve geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, hacim, bütün beyazlatma oranı ve ortalama beyazlatma oranını kapsamıştır. ‘Palaz’, şekil indeksi, en-boy oranı, aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı, hacim ve bütün beyazlatma bakımından daha yüksek ortalama değerlere sahip olurken; ‘Tombul’ sıkıştırma ve uzama indeksleri ile özellikle ortalama beyazlatma oranında daha yüksek değerler göstermiştir. ‘Tombul’da bütün beyazlatma ile geometrik özelliklerin hiçbiri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmazken, ortalama beyazlatma sıkıştırma indeksi, aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap, küresellik ve yüzey alanı ile pozitif; uzama indeksi ile negatif ilişkili bulunmuştur. ‘Palaz’da bütün beyazlatma sıkıştırma indeksi ile pozitif; aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı ve hacim ile negatif ilişkili bulunmuş, ortalama beyazlatma ile geometrik özellikler arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. PCA sonuçları her iki çeşitte de birinci temel bileşenin büyük ölçüde boyutla ilişkili değişkenler tarafından açıklandığını, ancak beyazlatma özellikleri ile geometrik özellikler arasındaki ilişkilerin çeşide bağlı olarak önemli farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, iç meyve geometrik özellikleri fındıkta işleme kalitesinin, özellikle beyazlatma davranışının, çeşide bağlı olarak değerlendirilmesinde tamamlayıcı göstergeler olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: *Corylus avellana*, İç fındık, Zar atma, Fiziksel, Biyometrik parametre

1. INTRODUCTION

World hazelnut cultivation and commercial distribution are largely dominated by a few key countries, among which Türkiye ranks first (59.15%), followed by Italy (9.95%), the USA (7.25%), Azerbaijan (6.25%), and Chile (6.05%) (FAO, 2024). Rather than offering their harvest in-shell, these major producing nations predominantly market hazelnuts in kernel form to meet the requirements of the food manufacturing sector. The food industry places strong emphasis on specific kernel attributes, including high kernel yield, uniform size distribution, distinct flavor profile, and superior blanchability (Fontana et al., 2014). Particularly within confectionery and baking applications, the efficient peeling of the skin (testa) and the acquisition of a smooth, pale kernel surface are essential to avoid astringency or bitterness. Consequently, enhancing blanching capacity has become a key target in modern hazelnut breeding programs (Mehlenbacher and Smith, 1988; Silvestri et al., 2021).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Although a fraction of the skin detaches naturally when the shell is broken, this informal detachment is neither sufficient nor efficient for industrial-scale processing. As a result, parameters such as kernel ratio, fruit dimensions, structural morphology, and blanching efficiency are recognized as critical standard criteria in commercial grading systems (Çetiner, 1976). The term "blanching ability" describes the degree of skin removal achieved after subjecting kernels to controlled heat treatment for a given duration. Successful blanching imparts a desirable crispness, an appealing light color, and an enriched sensory profile. High-quality, smooth, and brightly colored blanched kernels are extensively utilized in confectionery products, baked items, and chocolate spreads (such as Nutella). Conversely, kernels whose skins remain firmly attached are usually roasted with the skin intact and routed toward snack mixtures, bread products, or breakfast cereals (Mehlenbacher, 1991).

Thermal operations like roasting and blanching induce moderate structural changes in the chemical matrix while releasing key aromatic compounds. Confectionery manufacturers strongly favor raw materials exhibiting superior skin-peeling properties because this characteristic streamlines downstream manufacturing stages (Alasalvar et al., 2010; Silvestri et al., 2021). Standard laboratory assessment of pellicle removal typically involves thermal processing at 130-150 °C for 15-20 minutes, followed by mechanical friction. From a genetic standpoint, crossing parental genotypes with contrasting (high versus low) blanching capacities generally results in progeny displaying intermediate phenotypic traits (Mehlenbacher and Molnar, 2022). Cultivar-specific roasting protocols are also required; for instance, heating at 175 °C for 10-15 minutes is recommended for ‘Tombul’ hazelnuts, whereas 150 °C for 20–30 minutes is optimized for ‘Palaz’ hazelnuts to achieve an ideal balance of color, aroma, and pellicle separation (Bostan and İslam, 1999a).

Previous research demonstrates that blanching performance is a polygenic/multifactorial trait influenced by a wide array of factors. These include regional climatic/environmental conditions (Çetiner, 1976; Çetiner et al., 1984; Bostan and İslam, 1999b), genotype differences, drying techniques (Bostan, 1999a; Bostan, 1999b), tree or bush age (Bostan, 2001), harvest year variations (Bostan and Günay, 2009), and harvesting methodology (direct branch picking vs. ground collection) (Çırak and Bostan, 2018).

Earlier literature examined the relationship between complete blanching and average skin-removal rates (Bostan, 2023), alongside the impact of blanching efficiency on pomological features and kernel yield (Bostan and İslam, 1999b). Nevertheless, there is a notable absence of studies systematically evaluating the direct interactive effects between kernel geometric/dimensional parameters and blanching performance.

To address this information gap, as a follow-up to a previous study conducted on the ‘Foşa’ and ‘Çakıldak’ varieties (Bostan, 2026), this study was designed to investigate the relationships between the physical dimensions/geometric properties of the kernels and the blanching rates in ‘Tombul’ and ‘Palaz,’ two of Türkiye’s most commercially important hazelnut varieties.

2. MATERIALS AND METHODS

The primary plant material for this experiment comprised two commercially prominent

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

hazelnut cultivars (*Corylus avellana* L. cvs. 'Tombul' and 'Palaz') sampled from traditional orchards located in Ordu province, Türkiye. The selected orchards, approximately a century old, were cultivated using the conventional multi-stemmed "bush" (ocak) training system typical of local agricultural practices.

A Randomized Complete Block Design (RCBD) featuring three replications was established, with each replication incorporating three distinct orchards. From sun-dried commercial harvest lots, 5 kg of in-shell fruit samples were retrieved per replication.

Subsequent to manual or mechanical shell removal, geometric parameters of the kernels were determined through dimensional measurements. The three-dimensional values (width, length, and thickness) recorded from each kernel served as the basis to compute physical indices according to previously published mathematical formulas:

- **Shape index** (Yao and Mehlenbacher, 2000; Ahmad, 2009; Delprete and Sesana, 2014; Lopes et al., 2016; Milošević and Milošević, 2017; Correia et al., 2019; Ferrão et al., 2021; Romero-Aroca et al., 2021)
- **Compression index** (Yao and Mehlenbacher, 2000; Lopes et al., 2016; Correia et al., 2019; Ferrão et al., 2021)
- **Aspect ratio** (Milošević and Milošević, 2017)
- **Elongation index** (Ahmad, 2009; Sayıncı et al., 2015; Milošević and Milošević, 2017)
- **Arithmetic mean diameter** (Ahmad, 2009; Milošević and Milošević, 2017)
- **Geometric mean diameter** (Aydin, 2002; Ozdemir and Akinci, 2004; Capik et al., 2013; Hosseinpour et al., 2013; Capik, 2014; Delprete and Sesana, 2014; Sayıncı et al., 2015; Milošević and Milošević, 2017; Çetin et al., 2020; Selvi et al., 2020)
- **Sphericity** (Milošević and Milošević, 2017)
- **Surface area** (Ozdemir and Akinci, 2004; Sayıncı et al., 2015; Milošević and Milošević, 2017; Çetin et al., 2020; Selvi et al., 2020)
- **Volume** (Hosseinpour et al., 2013; Milošević and Milošević, 2017)

The mathematical formulations utilized are presented below:

1. $\text{Shape Index (SI)} = \frac{\text{Width}+\text{Thickness}}{2\times\text{Length}}$
2. $\text{Compression Index (CI)} = \frac{\text{Width}}{\text{Thickness}}$
3. $\text{Aspect Ratio (AR)} = \left(\frac{\text{Width}}{\text{Length}}\right) \times 100$
4. $\text{Elongation Index (EI)} = \frac{\text{Length}}{\text{Width}}$
5. $\text{Arithmetic Mean Diameter (AMD)} = \frac{\text{Width}+\text{Length}+\text{Thickness}}{3}$
6. $\text{Geometric Mean Diameter (GMD)} = (\text{Width} \times \text{Length} \times \text{Thickness})^{1/3}$
7. $\text{Sphericity (S)} = \frac{\text{Geometric Mean Diameter}}{\text{Length}}$
8. $\text{Surface Area (SA)} = \pi \times \text{Geometric Mean Diameter}^2$
9. $\text{Volume (V)} = \frac{\pi\times\text{Width}\times\text{Length}\times\text{Thickness}}{6}$

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Upon completing physical profiling, thermal treatment for skin removal was conducted. Kernel samples representing each replication were partitioned into 90 Petri dishes per cultivar, which were further subdivided into three distinct groups containing 30 dishes each. Thermal processing was executed in a forced-air oven maintained at 150 °C for a duration of 20 minutes (Bostan and İslam, 1999a).

Post-treatment, samples were removed from the thermal oven, cooled to ambient temperature, and manually rubbed for approximately 20 seconds to facilitate complete detachment of the loosened pellicle (testa) (Mehlenbacher and Smith, 1988).

Kernel blanching effectiveness was subsequently evaluated under two main categories:

- **Whole Blanched:** Kernels exhibiting total absence of skin residues.
- **Partially Blanched:** Kernels retaining localized pellicle portions, where the individual coverage removal was quantified as a percentage.

The **whole blanching rate** was defined as the percentage ratio of fully pellicle-free kernels to the total sample count within a given Petri dish. Meanwhile, the **average blanching rate** was determined by calculating the mean removal efficiency across all partially and fully blanched samples (Bostan and İslam, 1999a).

Statistical evaluations, including pairwise Pearson correlation analyses and Principal Component Analysis (PCA), were conducted to examine the interactions between kernel geometric features and blanching parameters using JMP software (version 13.2.0).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The univariate descriptive statistics, along with the results of pairwise correlation and Principal Component Analysis (PCA) utilized to resolve multivariate variance and elucidate the relationships between kernel geometric attributes and blanching behavior in ‘Tombul’ and ‘Palaz’ cultivars, are detailed below.

3.1. Descriptive Statistics

Table 1 demonstrates clear cultivar-related differences in the geometric and blanching characteristics of the kernels. ‘Tombul’ had a mean shape index of 0.89, compression index of 0.88, aspect ratio of 0.83, and elongation index of 1.20, whereas the corresponding values in ‘Palaz’ were 1.01, 0.85, 0.93, and 1.09, respectively. Thus, ‘Palaz’ showed a relatively higher shape and aspect ratio, while ‘Tombul’ exhibited a higher compression and elongation index. The mean arithmetic mean diameter was 13.12 mm in ‘Tombul’ and 13.33 mm in ‘Palaz’, while geometric mean diameter was 7.52 and 7.89 mm, respectively. Similarly, mean sphericity, surface area, and volume were higher in ‘Palaz’ (0.59, 202.28 mm^2, and 1239.83 mm^3) than in ‘Tombul’ (0.53, 182.77 mm^2, and 1181.87 mm^3). These differences indicate that the two cultivars differed not only in shape descriptors but also in overall size-related geometry.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Table 1. Univariate descriptive statistics for kernel geometric parameters and blanching rates

		'Tombul'				'Palaz'			
Variables	**Abbr.**	**Mean**	**SD**	**Min.**	**Max.**	**Mean**	**SD**	**Min.**	**Max.**
Shape index	SI	0.89	0.03	0.83	0.95	1.01	0.09	0.83	1.12
Compression index	CI	0.88	0.05	0.76	0.93	0.85	0.04	0.76	0.91
Aspect ratio	AR	0.83	0.04	0.75	0.89	0.93	0.09	0.72	1.02
Elongation index	EI	1.20	0.06	1.13	1.34	1.09	0.12	0.98	1.40
Arithmetic mean diameter (mm)	AMD	13.12	0.75	11.53	14.58	13.33	0.78	12.61	15.56
Geometric mean diameter (mm)	GMD	7.52	1.28	4.97	10.18	7.89	1.47	6.60	12.17
Sphericity	S	0.53	0.06	0.39	0.62	0.59	0.05	0.52	0.69
Surface area (mm^2)	SA	182.77	60.98	77.72	325.29	202.28	87.33	136.68	465.44
Volume (mm^3)	V	1181.87	200.29	781.31	1598.38	1239.83	231.36	1036.10	1911.95
Whole blanching (%)	WB	69.33	19.88	25.00	95.00	74.44	15.25	46.00	98.00
Average blanching (%)	AB	97.78	1.50	94.00	100.00	91.00	4.84	80.00	100.00

Blanching traits showed a contrasting pattern. Whole blanching averaged 69.33% in 'Tombul' and 74.44% in 'Palaz', whereas average blanching was substantially higher in 'Tombul' (97.78%) than in 'Palaz' (91.00%). The comparatively broad ranges observed for whole blanching (25-95% in 'Tombul' and 46-98% in 'Palaz') indicate considerable within-cultivar variation. In contrast, average blanching in 'Tombul' was concentrated within a relatively narrow high-performance range (94-100%), while 'Palaz' displayed a wider range (80-100%). Together, these results suggest that whole blanching and average blanching capture different aspects of blanching performance and should therefore be interpreted separately.

3.2. Correlation Analysis

The correlation analysis revealed cultivar-specific relationships between kernel geometry and blanching performance (Table 2). In 'Tombul', none of the geometric variables examined was significantly associated with whole blanching. However, average blanching was positively correlated with compression index ($r = 0.634$, $P < 0.001$), arithmetic mean diameter ($r = 0.484$, $P < 0.05$), geometric mean diameter ($r = 0.452$, $P < 0.05$), sphericity ($r = 0.516$, $P < 0.01$), and surface area ($r = 0.384$, $P < 0.05$). Elongation index showed a significant negative correlation with average blanching ($r = -0.443$, $P < 0.05$). These associations indicate that, within 'Tombul', more compact kernel geometry and greater size-related attributes tended to accompany higher average blanching, whereas greater elongation was associated with lower average blanching.

In 'Palaz', the pattern differed substantially. Whole blanching was positively associated with compression index ($r = 0.650$, $P < 0.001$) but negatively associated with arithmetic mean diameter ($r = -0.569$, $P < 0.01$), geometric mean diameter ($r = -0.569$, $P < 0.01$), sphericity ($r = -0.558$, $P < 0.01$), surface area ($r = -0.571$, $P < 0.01$), and volume ($r = -0.569$, $P < 0.01$). No significant correlation was detected between average blanching and any geometric parameter in 'Palaz'. The opposite directions of several size-related relationships between 'Tombul' and 'Palaz' emphasize that the effect of kernel geometry on blanching cannot be generalized across cultivars. Importantly, the correlation coefficients describe associations rather than causal effects; therefore, these relationships should be interpreted as cultivar-specific statistical patterns.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Table 2. Correlations between kernel geometric parameters and blanching rates

	Whole blanching		Average blanching	
Variables	**'Tombul'**	**'Palaz'**	**'Tombul'**	**'Palaz'**
Shape index	-0.364 ns	0.213 ns	0.062 ns	0.124 ns
Compression index	0.377 ns	0.650 ***	0.634 ***	-0.104 ns
Aspect ratio	-0.127 ns	0.333 ns	0.368 ns	0.072 ns
Elongation index	0.011 ns	-0.379 ns	-0.443 *	-0.033 ns
Arithmetic mean diameter (mm)	0.353 ns	-0.569 **	0.484 *	0.078 ns
Geometric mean diameter (mm)	0.336 ns	-0.569 **	0.452 *	0.088 ns
Sphericity	0.276 ns	-0.558 **	0.516 **	0.154 ns
Surface area (mm^2)	0.306 ns	-0.571 **	0.384 *	0.106 ns
Volume (mm^3)	0.336 ns	-0.569 **	0.452 *	0.087 ns

*,**,***: Significant at the 5%, 1%, 1‰ levels, respectively ($p < 0.05$), ns: non-significant.

Previous investigations examining the interplay between in-shell fruit attributes and blanching efficiency across 'Tombul', 'Palaz', 'Kalınkara', and 'Sivri' cultivars demonstrated that these correlations are strongly cultivar-dependent. Specifically, significant associations were established between blanching response and shell thickness in 'Tombul' and 'Kalınkara'; nut and kernel weights in 'Palaz'; and nut thickness alongside kernel yield in 'Sivri' (Bostan and İslam, 1999b). In a previous study conducted on the 'Çakıldak' and 'Foşa' varieties, significant positive correlations for both the whole blanching rate and the average blanching rate were observed only in the 'Çakıldak' variety and were associated with the sphericity and surface area of the kernel (Bostan, 2026). In the present study, however, the average blanching rate in the 'Tombul' variety and the whole blanching rate in the 'Palaz' variety were found to be significantly correlated with many parameters. On the other hand, the heritability of the blanching rate trait was reported as 0.48 in one study (Mehlenbacher and Smith, 1988) and 0.64 in another (Yao and Mehlenbacher, 2000); this suggests that the variation in these coefficients is primarily due to differences among genotypes.

3.3. Principal Component Analysis

PCA provided an integrated view of the multivariate structure of kernel geometry and blanching traits (Table 3). In 'Tombul', the first principal component (PC1) had an eigenvalue of 6.256 and explained 56.875% of the total variance. PC1 was strongly and positively associated with sphericity (0.978), arithmetic mean diameter (0.975), geometric mean diameter (0.963), volume (0.962), surface area (0.923), compression index (0.882), and average blanching (0.621). PC2 had an eigenvalue of 3.063 and explained 27.844% of the variance, with particularly strong positive loadings for shape index (0.957) and aspect ratio (0.935), and a strong negative loading for elongation index (-0.915). PC3 explained a further 10.422%, with whole blanching showing a relatively high positive loading (0.798). The first three components together accounted for 95.142% of the total variance, indicating that the multivariate structure of the examined traits was captured effectively by these components.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Table 3. Eigenvalues and total variance proportions of the first three principal components for the examined characteristics

	'Tombul'		
Variables	**PC1**	**PC2**	**PC3**
S	**0.978**	0.055	-0.172
AD	**0.975**	-0.170	-0.134
GD	**0.963**	-0.212	-0.162
V	**0.962**	-0.213	-0.162
SA	**0.923**	-0.312	-0.207
CI	**0.882**	0.303	0.108
AB	**0.621**	0.244	0.583
SI	-0.186	**0.957**	-0.091
AR	0.338	**0.935**	-0.069
WB	0.422	-0.252	**0.798**
EI	-0.390	**-0.915**	-0.033
Eigenvalue	6.256	3.063	1.146
Variance (%)	56.875	27.844	10.422
Cumulative (%)	56.875	84.719	95.142

	'Palaz'	
Variables	**PC1**	**PC2**
SA	**0.985**	0.111
GD	**0.976**	0.140
V	**0.976**	0.140
AD	**0.970**	0.157
EI	**0.886**	-0.443
S	**0.705**	0.631
SI	**-0.762**	0.621
AR	**-0.837**	0.525
AB	0.068	**0.466**
WB	**-0.612**	-0.402
CI	**-0.826**	-0.056
Eigenvalue	7.439	1.713
Variance (%)	67.624	15.576
Cumulative (%)	67.624	83.200

The 'Tombul' PCA plot (Figure 1) is consistent with this structure. The close positioning of size-related variables and sphericity along the first component reflects their common contribution to kernel geometry, whereas elongation index is positioned in the opposite direction along the second component. Average blanching is located on the positive side of PC1, consistent with its positive correlations with several size- and compactness-related traits. Whole blanching is more strongly represented on PC3 than on PC1 or PC2, supporting the correlation analysis showing that whole blanching was not significantly related to individual geometric variables.

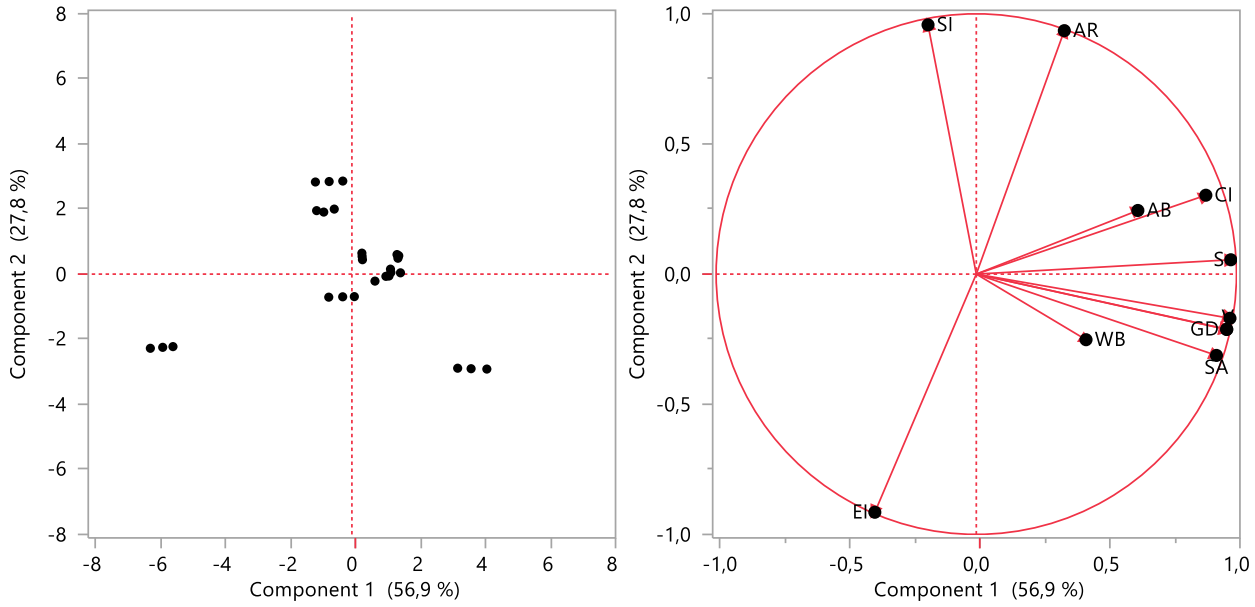


Figure 1. Summary PCA plot of the examined parameters according to the 1st and 2nd principal components in the 'Tombul' cultivar.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

In ‘Palaz’, PC1 had an eigenvalue of 7.439 and explained 67.624% of the total variance, while PC2 had an eigenvalue of 1.713 and explained 15.576%. Together, the first two components accounted for 83.200% of the total variance. PC1 showed very high positive loadings for surface area (0.985), geometric mean diameter (0.976), volume (0.976), arithmetic mean diameter (0.970), and elongation index (0.886), while compression index (-0.826), aspect ratio (-0.837), shape index (-0.762), and whole blanching (-0.612) were negatively associated with PC1. PC2 was positively associated with shape index (0.621), sphericity (0.631), aspect ratio (0.525), and average blanching (0.466), while elongation index showed a negative loading (-0.443). The ‘Palaz’ PCA plot (Figure 2) therefore separates size-related attributes from shape/compression and blanching dimensions more clearly than observed in ‘Tombul’.

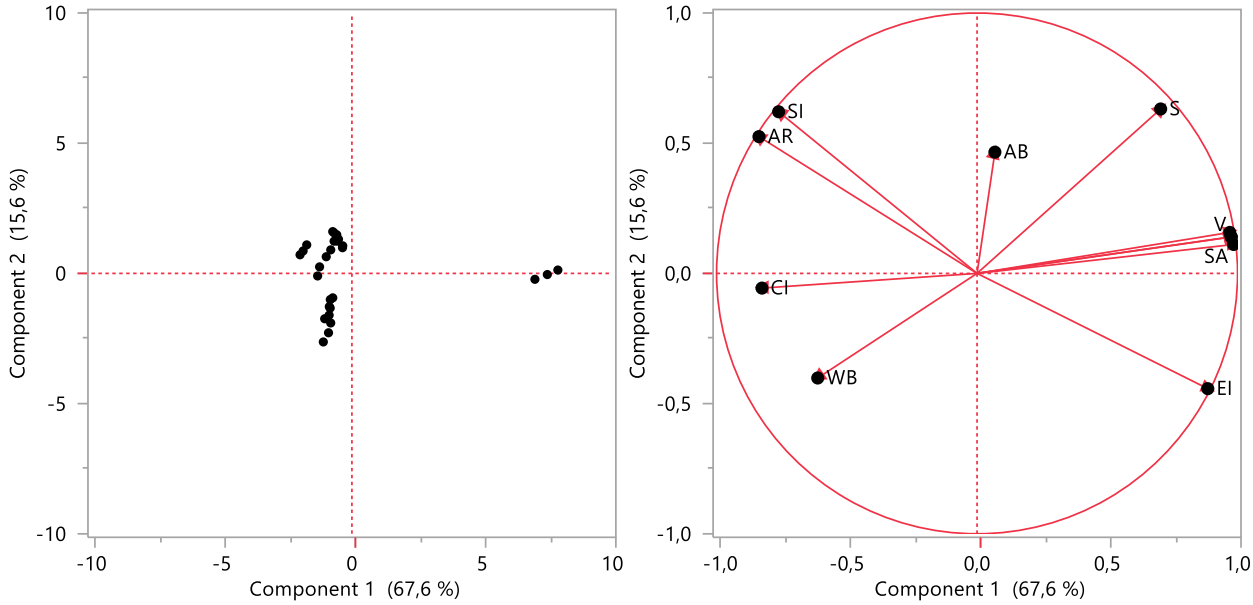


Figure 2. Summary PCA plot of the examined parameters according to the 1st and 2nd principal components in the ‘Palaz’ cultivar.

Overall, the PCA results reinforce the cultivar-dependent nature of the relationships identified by correlation analysis. In ‘Tombul’, average blanching was integrated into the main geometry-related variation represented by PC1, whereas whole blanching was more independent and associated with PC3. In ‘Palaz’, whole blanching was negatively positioned on the principal size-related axis, while average blanching had a weaker contribution and was more closely associated with the second component. Thus, the two cultivars exhibit distinct multivariate patterns linking kernel geometry with blanching performance.

4. CONCLUSIONS

The present study demonstrates that kernel geometric characteristics and blanching performance are statistically associated in a cultivar-dependent manner in Turkish hazelnut. ‘Palaz’ generally exhibited higher size-related geometric values and whole blanching, whereas ‘Tombul’ showed higher compression and elongation indices and a markedly higher average blanching rate. Correlation analysis indicated that average blanching in ‘Tombul’ was positively related to compression, size, sphericity, and surface-area traits and negatively related to

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

elongation, while whole blanching showed no significant association with the examined geometric variables. In 'Palaz', whole blanching was positively associated with compression index but negatively associated with several size-related variables, while average blanching was not significantly correlated with the geometric traits. PCA confirmed these cultivar-specific multivariate patterns and showed that size-related traits constituted the major source of variation in both cultivars. Accordingly, kernel geometry should not be considered a universal predictor of blanching performance; rather, its interpretation should be cultivar-specific and complemented by direct blanching measurements. The findings provide a quantitative basis for further studies aimed at identifying morphological traits that may be useful in evaluating hazelnut processing quality.

5. REFERENCES

Ahmad, K. (2009). Documentation and evaluation of hazelnut germplasm in Dachigam area of Kashmir (Doctoral dissertation, Faculty of Postgraduate Studies Sher-E-Kashmır University of Agricultural Sciences & Technology of Kashmir).

Alasalvar, C., Pelvan, E., & Amarowicz, R. (2010). Effects of roasting on taste active compounds of Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.). J Agric Food Chem 58:8674–8679.

Aydin, C. (2002). Ph-postharvest technology: Physical properties of hazel nuts. Biosystems Engineering, 82(3), 297-303. doi:10.1006/bioe.2002.0065

Bostan, S. Z. (1999a). Farklı ortamlarda kurutulan fındıklarda bazı önemli kalite özellikleri üzerine bir araştırma. Bahçe, 28(1-2), 73-78.

Bostan, S. Z. (1999b). Ordu Ekolojisinde yetiştirilen bazı fındık çeşitlerinde beyazlama özelliği üzerine bir araştırma. OMÜZF Dergisi, 14(2), 106-111.

Bostan, S.Z. (2001). Variation in important nuts, kernel, leaf, and technological traits in hazelnut trees of different ages. Acta Horticulturae, 556, 291-298. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.556.43

Bostan, S.Z. (2023). Changes in the relationships between pomological characteristics in hazelnuts according to the picking manually from the branch and the ground. Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences (TURJFAS), 5(2): 78-87. DOI: https://doi.org/10.53663/turjfas.1371767

Bostan, S.Z. (2026). Analysis of the relationships between kernel biometric properties and blanching rates in 'Çakıldak' and 'Foşa' hazelnut cultivars: Correlation and principal component approach. TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES, July 10-12, 2026, EDIRNE, TÜRKİYE. Proceedings Book: 277-289.

Bostan, S. Z., & Günay, K. (2009). Variation of important quality characteristics in hazelnut at different years and correlations between husk number and nut and kernel traits. Acta Horticulturae, 845, 641-646. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.845.100

Bostan, S. Z., & İslam, A. (1999a). Ordu'da yetiştirilen Tombul ve Palaz fındık çeşitlerinde beyazlama oranı üzerine farklı sıcaklık ve sürelerin etkileri. Karadeniz Bölgesi Tarım Sempozyumu Bildirileri, 2, 537-546.

Bostan, S. Z., & İslam, A. (1999b). Fındıkta beyazlama oranı ile diğer önemli meyve kalite

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

özellikleri arasındaki karşılıklı ilişkilerin path analizi ile belirlenmesi. Türkiye Ill. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, 14-17.

Capik, J. M. (2014). Identifying and evaluating eastern filbert blight resistant hazelnuts (*Corylus* spp.) in New Jersey. Rutgers The State University of New Jersey, School of Graduate Studies.

Capik, J. M., Muehlbauer, M., Novy, A., Honig, J. A., & Molnar, T. J. (2013). Eastern filbert blight-resistant hazelnuts from Russia, Ukraine, and Poland. HortScience, 48(4), 466-473.

Correia, P., Rodrigues, C., Filipe, A., & Guiné, R. (2019). Evaluation of biometric characteristics of hazelnuts. 4th International Conference of Food and Biosystems Engineering Proceedings, 67-74.

Çetin, N., Yaman, M., Karaman, K., & Demir, B. (2020). Determination of some physicomechanical and biochemical parameters of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 44(5), 439-450. https://doi.org/10.3906/tar-1905-115

Çetiner, E., 1976. Karadeniz Fındık Bölgesi Özellikle Giresun ve Çevresinde Tombul Çeşidi Üzerinde Seleksiyon Çalışmaları ile Bunları Tozlayıcı Yuvarlak Tiplerin Seçimi Üzerinde Araştırmalar. Ege Bölge Zirai Araştırma Enstitüsü (Basılmamış Doktora Tezi), 175 s, İzmir.

Çetiner, E., Okay, A. N., Baş, F., 1984. Yuvarlak Pomolojık Fındık Grubunda Çeşit ve Tozlayıcı Ön Seçimi. Sonuç raporu. TOK Proje ve Uygulama Genel Müd. Ülkesel Proje Kod No: 111-038-1-280. Fındık Araştırma ve Eğitim Merkezi Müd. Giresun. 54 s.

Çırak, M., & Bostan, S. Z. (2018). Effect on fruit quality traits of hazelnut cultivars when picking by hand from branch and ground. Acta Horticulturae, 1226, 339-344. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1226.51

Delprete, C., & Sesana, R. (2014). Mechanical characterization of kernel and shell of hazelnuts: Proposal of an experimental procedure. Journal of Food Engineering, 124, 28-34. http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.027

FAO, 2024. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Ferrão, A. C., Guiné, R. P., Ramalhosa, E., Lopes, A., Rodrigues, C., Martins, H., ... & Correia, P. M. (2021). Chemical and physical properties of some hazelnut varieties grown in Portugal. Agronomy, 11(8), 1476. https://doi.org/10.3390/agronomy11081476

Fontana, M., Somenzi, M., & Tesio, A. (2014). Cultivation, harvest and postharvest aspects that influence quality and organoleptic properties of hazelnut production and related final products. Acta Hortic 1052:311-314. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1052.43

Hosseinpour, A., Seifi, E., Javadi, D., Ramezanpour, S. S., & Molnar, T. J. (2013). Nut and kernel characteristics of twelve hazelnut cultivars grown in Iran. Scientia Horticulturae, 150, 410-413. http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.11.028

Lopes, A., Matos, A., & Guiné, R. (2016). Evaluation of morphological and physical characteristics of hazelnut varieties. Millenium-Journal of Education, Technologies, and Health, (1), 13-24.

Mehlenbacher, S. A. (1991). Hazelnuts (*Corylus*). In: Moore, J.N., Ballington, J.R. (eds) Genetic Resources in temperate fruit and nut crops. Acta Horticulturae, 209, 789-836.

DOI: 10.17660/ActaHortic.1991.290.18

Mehlenbacher, S. A., & Molnar, T. J. (2022). Hazelnut breeding. Plant Breeding Reviews, 45, 9-141. https://doi.org/10.1002/9781119828235.ch2

Mehlenbacher, S. A., & Smith, D. C. (1988). Heritability of ease of hazelnut pellicle removal. HortScience, 23(6), 1053-1054.

Milošević, T., & Milošević, N. (2017). Determination of size and shape features of hazelnuts using multivariate analysis. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 16(5), 49-61. DOI: 10.24326/asphc.2017.5.6

Ozdemir, F., & Akinci, I. (2004). Physical and nutritional properties of four major commercial Turkish hazelnut varieties. Journal of Food Engineering, 63(3), 341-347. doi:10.1016/j.jfoodeng.2003.08.006

Romero-Aroca, A., Rovira, M., Cristofori, V., & Silvestri, C. (2021). Hazelnut kernel size and industrial aptitude. Agriculture, 11(11), 1115. https://doi.org/10.3390/agriculture11111115

Sayıncı, B., Kara, M., Ercişli, S., Duyar, Ö., & Ertürk, Y. (2015). Elliptic Fourier analysis for shape distinction of Turkish hazelnut cultivars. Erwerbs-obstbau, 57(1), 1-11. DOI 10.1007/s10341-014-0221-7

Selvi, K. Ç., Yesiloğlu, E., & Sauk, H. (2020). Engineering properties of two hazelnuts varieties and its kernel relation to harvest and threshing. Italian Journal of Food Science, 32(3).

Silvestri, C., Bacchetta, L., Bellincontro, A., & Cristofori, V. (2021). Advances in cultivar choice, hazelnut orchard management, and nut storage to enhance product quality and safety: an overview. Journal of the Science of Food and Agriculture, 101(1), 27-43. DOI 10.1002/jsfa.10557

Yao, Q., & Mehlenbacher, S. A. (2000). Heritability, variance components and correlation of morphological and phenological traits in hazelnut. Plant Breeding, 119(5), 369-381.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

QUALITY-MINERAL RELATIONSHIPS IN FRESH TEA LEAVES (*Camellia sinensis* L.) UNDER DIFFERENT SUNLIGHT EXPOSURE CONDITIONS

Prof. Dr. Saim Zeki BOSTAN

Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Ordu

szbostan@hotmail.com

ORCID: 0000-0001-6398-1916

ABSTRACT

This study evaluated the interrelationships between quality parameters (polyphenol, caffeine, water extract, dry matter, crude cellulose, ash) and mineral element contents (Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Al, Ca, S) in fresh tea leaves (*Camellia sinensis* L.) exposed to three distinct sunlight regimes: full sunny, semi-sunny, and shady conditions. Pairwise correlation and Principal Component Analysis (PCA) were performed to elucidate the sunlight-dependent biochemical interactions. Under full sunny conditions, pairwise correlation analysis identified significant interactions between minerals and quality parameters. PCA revealed that the first four principal components (PCs) accounted for 80.23% of total variance, where PC1 was heavily governed by Mg (0.873), water extract (0.752), Ca (-0.886), and Al (-0.785). Under semi-sunny conditions, specific co-variations were identified, and six principal components were required to explain 87.76% of the cumulative variance, reflecting high biochemical variability. Under shady conditions, correlation patterns shifted noticeably, and PC1 alone explained a striking 38.92% of the total variance, strongly dominated by Ca (0.927), dry matter (0.899), Mn (0.899), and S (0.882). Strong antagonism between Ca and Mg was amplified in shady conditions (r= -0.926) compared to full sunny exposure (r= -0.733). Furthermore, polyphenol content correlated positively with Fe under full sunny regimes (r= 0.499) but exhibited strong negative correlations with Cu (r= -0.642) and Fe (r=-0.620) in shade. These findings demonstrate that light exposure significantly regulates leaf nutrient uptake, mineral-quality parameter interactions, and overall biochemical accumulation in tea leaves, offering vital insights for shade management and customized fertilization strategies in tea plantations.

Keywords: *Camellia sinensis*, Correlation analysis, Mineral nutrition, Principal Component Analysis, Quality parameters, Sunlight exposure.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

FARKLI GÜNEŞ IŞIĞINA MARUZ KALMA KOŞULLARINDA TAZE ÇAY YAPRAKLARINDA (*Camellia sinensis* L.) KALİTE-MİNERAL İLİŞKİLERİ

ÖZET

Bu çalışmada, üç farklı güneşlenme rejimine (tam güneşli, yarı güneşli ve gölge) maruz kalan taze çay yapraklarında (*Camellia sinensis* L.) kalite parametreleri (polifenol, kafein, su ekstraktı, kuru madde, ham selüloz, ham kül) ile mineral madde içerikleri (Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Al, Ca, S) arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Işığa bağımlı biyokimyasal etkileşimleri ortaya koymak amacıyla ikili Pairwise korelasyon analizi ve Temel Bileşenler Analizi (PCA) uygulanmıştır. Tam güneşli koşullarda, ikili korelasyon analizi mineraller ile kalite parametreleri arasında anlamlı etkileşimler olduğunu belirlemiştir. PCA sonuçları ilk dört temel bileşenin (PC) toplam varyansın %80.23'ünü açıkladığını ve PC1'in ağırlıklı olarak Mg (0.873), su ekstraktı (0.752), Ca (-0.886) ve Al (-0.785) tarafından yönlendirildiğini göstermiştir. Yarı güneşli koşullarda özgün birlikte değişimler (ko-varyasyonlar) tespit edilmiş ve yüksek biyokimyasal değişkenliği yansıtacak şekilde birikimli varyansın %87.76'sını açıklamak için altı temel bileşen gerekmiştir. Gölge koşullarında ise korelasyon desenleri belirgin şekilde değişmiş ve PC1 tek başına toplam varyansın %38.92'si gibi dikkat çekici bir oranını açıklayarak Ca (0.927), kuru madde (0.899), Mn (0.899) ve S (0.882) tarafından güçlü bir şekilde domine edilmiştir. Ca ve Mg arasındaki güçlü antagonizma, tam güneşli maruziyete kıyasla (r= -0.733) gölge koşullarında (r= -0.926) daha da şiddetlenmiştir. Ayrıca, polifenol içeriği tam güneşli rejimlerde Fe ile pozitif korelasyon gösterirken (r= 0.499), gölgede Cu (r= -0.642) ve Fe (r=-0.620) ile güçlü negatif korelasyonlar sergilemiştir. Bu bulgular; ışık maruziyetinin yaprak besin maddesi alımını, mineral-kalite parametre etkileşimlerini ve çay yapraklarındaki genel biyokimyasal birikimi önemli ölçüde düzenlediğini kanıtlamakta, çay bahçelerinde gölgeleme yönetimi ve özelleştirilmiş gübreleme stratejileri için kritik ipuçları sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Camellia sinensis*, Korelasyon analizi, Mineral beslenme, Temel Bileşenler Analizi, Kalite parametreleri, Güneş ışığı maruziyeti

1. INTRODUCTION

Tea (*Camellia sinensis* L.), the second most widely consumed beverage globally after water, is a perennial industrial crop belonging to the family Theaceae, growing as an evergreen shrub or small tree (Koca and Bostancı, 2014; Elmas and Gezer, 2019). Depending on the processing methods applied to fresh shoots and young leaves, various commercial tea categories-such as black, green, oolong, and white tea-are produced (Üstün and Demirci, 2013; Koca and Bostancı, 2014; Topuz et al., 2014). Beyond serving as a refreshing beverage, tea possesses numerous pharmacological and medicinal properties, including antioxidant, anti-inflammatory, anticarcinogenic, antidiabetic, and antimicrobial activities, attributed to its rich composition of bioactive compounds (Khan and Mukhtar, 2013; Üstün and Demirci, 2013).

Although native to South and Southeast Asia, tea has achieved broad geographic distribution

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

across tropical and subtropical regions worldwide owing to its high ecological adaptability (Anonymous, 2016). Global tea production is predominantly led by countries such as China, India, Kenya, and Sri Lanka, while Türkiye maintains a prominent position internationally in terms of both cultivated area and dry tea yield (FAO, 2024). In Türkiye, tea cultivation is heavily concentrated in the Eastern Black Sea Region. The high mountain ranges surrounding the region to the south form a natural barrier against cold, dry continental air masses. The interaction of these mountains with moist maritime winds creates a unique microclimatic zone suitable for commercial tea farming (Kacar, 2010).

Climate and soil characteristics are the primary factors directly determining yield and quality parameters in tea cultivation. For optimal physiological development, annual mean temperatures should not drop below 14 °C, total annual precipitation should exceed 2000 mm with a uniform monthly distribution, and relative humidity should remain above 70% (Anonymous, 2013). Among climatic variables, solar radiation intensity and duration play a critical role in shoot quality. Direct and intense exposure to sunlight can induce stress-related physiological disorders in the plant; conversely, intermittent or filtered light conditions following overcast weather (shading) are known to positively influence leaf quality. Although the degree and application method of shading elicit distinct physiological responses, studies examining the effects or requirements of shading in Turkish tea agriculture remain limited (Kacar, 2010).

Mineral elements in tea leaves are vital for plant growth and development, enzymatic activation, biochemical reactions, and ultimate product quality. The mineral content of fresh tea leaves is significantly influenced by microclimatic conditions such as light exposure, as well as genotype, leaf age, shooting period (harvest period), and agronomic practices including fertilization and pruning (Kacar, 2010). Furthermore, given that the Turkish tea population predominantly consists of *Sinensis* varieties presenting a highly heterogeneous genetic structure, a detailed investigation of nutritional status and quality parameters under varying ecological conditions is essential (Anonymous, 1976).

Although previous reports have examined variations in the mineral and quality contents of fresh tea leaves relative to lighting conditions, as well as the relationships between these parameters irrespective of garden insolation status (Demir and Bostan, 2018; Demir and Bostan, 2021; Ye et al., 2021; Bostan, 2022; Tseng and Lai, 2022; Yang et al., 2023; Ge et al., 2024; Jia et al., 2024), no study to date has investigated how these relationships manifest under different illumination regimes.

In this study, the aim was to determine how the relationships between the mineral contents and quality parameters of fresh tea leaves (*Camellia sinensis* L.) vary under different sunlight exposure conditions.

2. MATERIALS AND METHODS

Study Area and Plant Material

This study was conducted in Ortaköy village, located in Güneysu district of Rize province,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Türkiye. The experimental area is situated at an altitude of approximately 300 m above sea level and is 9.5 km away from the coastline. In the experimental orchards, which are roughly 40-50 years old, routine agricultural practices such as weed control and fertilization were completed by the grower in accordance with standard management protocols prior to the initiation of the study.

In April, preceding the first flush period, tea bushes demonstrating uniform growth performance across all three orchards were selected, marked, and delimited into experimental plots using wooden stakes and ribbons.

Determination of Sunlight Regimes and Microclimatic Data

The light exposure regimes of the tea orchards were initially classified based on field observations. Subsequently, to precisely measure microclimatic parameters, automated data logger kits were positioned at the center of each orchard, immediately above the tea canopy level.

Temperature, relative humidity, and Photosynthetically Active Radiation (PAR) values were continuously recorded for 50 days between July 1, and August 20. Based on the measured average PAR values, the experimental orchards were categorized into three distinct light regimes:

- Sunny All Day: Full sun exposure, defined as 100% PAR,
- Sunny Half-Day: Partial sun exposure, corresponding to 66% PAR,
- Shady: Shaded conditions, corresponding to 41% PAR.

Sampling and Harvest Periods

Sampling was carried out across three distinct shooting/harvest periods from May to September during the production season. The harvest dates were May 27 (1st flush period), July 26 (2nd flush period), and September 13 (3rd flush period), respectively. Fresh tea leaf samples collected from each replication following standard sampling guidelines were pooled, homogenized, and immediately transported to the laboratory under cold chain conditions to preserve freshness.

Quality and Mineral Element Analyses

Physical, chemical, and mineral analyses of the fresh tea leaf samples were performed at the laboratories of the Atatürk Tea and Horticultural Research Institute Directorate in Rize, Türkiye.

- ***Quality Analyses***: Crude cellulose determination was conducted in accordance with TS ISO 15598; total polyphenol content according to ISO 14502-2/2005; water extract according to TS ISO 9768; total ash content according to TS 1564; and dry matter content along with sample preparation according to ISO 1572 / TS 1561 standards. Caffeine content was determined spectrophotometrically using the method outlined by UNCTAD (International Trade Centre-UNCTAD).
- ***Mineral Analyses***: To determine macro- and micronutrient concentrations (copper [Cu], manganese (Mn), iron (Fe), zinc (Zn), calcium (Ca), magnesium (Mg),

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

aluminum (Al), and sulfur (S)), leaf samples were subjected to wet digestion using a nitric-perchloric acid mixture. Mineral concentrations in the digestate were measured using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) (Kacar 1991; Turan et al. 2016).

Experimental Design and Statistical Analysis

The experiment was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with three replications.

Statistical analyses of the data were performed using JMP software (Version 13.2.0). Correlation analysis and Principal Component Analysis (PCA) were conducted to determine the variations in the relationships between quality parameters and mineral element contents under different sunlight exposure conditions.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Full Sunny Exposure Relationships

Correlations

The correlation analysis revealed several statistically significant relationships among mineral elements and quality-related parameters (Table 1).

The strongest positive correlation was observed between Mg and Zn (r= 0.843, $P < 0.0001$), indicating a very strong positive association between these two mineral elements. In contrast, S showed a strong negative correlation with water extract (r= -0.818, $P < 0.0001$), while Ca was also strongly and negatively correlated with water extract (r= -0.804, $P < 0.0001$).

Table 1. Significant Pairwise Correlations between quality parameters and mineral contents in fresh tea leaves under full sunny conditions

Variable	by Variable	Correlation	Signif Prob
Mg	Zn	0.843	<.0001*
S	Water extract	-0.818	<.0001*
Ca	Water extract	-0.804	<.0001*
Mn	Polyphenol	-0.743	0.0004*
Al	Mg	-0.734	0.0005*
Ca	Mg	-0.733	0.0005*
Zn	Cu	0.677	0.0020*
Ca	Al	0.670	0.0024*
Mg	Fe	0.610	0.0072*
Mn	Zn	0.575	0.0125*
Al	Zn	-0.559	0.0159*
Fe	Ash	-0.558	0.0161*
Ash	Polyphenol	-0.553	0.0172*
S	Ca	0.550	0.0180*
Al	Water extract	-0.533	0.0228*
Fe	Crude cellulose	-0.515	0.0288*
Al	Fe	-0.505	0.0327*
Mn	Cu	0.504	0.0330*

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Variable	by Variable	Correlation	Signif Prob
Fe	Polyphenol	0.499	0.0351*
Ca	Fe	-0.477	0.0453*

A strong negative relationship was detected between Mn and polyphenol content (r= -0.743, P = 0.0004). Similarly, Al exhibited significant negative correlations with Mg (r= -0.734, P= 0.0005) and Zn (r= -0.559, P= 0.0159). The correlation between Ca and Mg was also strongly negative (r= -0.733, P= 0.0005), suggesting an inverse association between these two minerals.

Several significant positive correlations were also identified. Zn was positively correlated with Cu (r= 0.677, P= 0.0020), while Ca showed a positive correlation with Al (r= 0.670, P= 0.0024). Furthermore, Mg was positively associated with Fe (r= 0.610, P= 0.0072), and Mn was positively correlated with Zn (r= 0.575, P= 0.0125). A moderate positive relationship was observed between S and Ca (r= 0.550, P= 0.0180).

Among the quality parameters, Fe showed a significant negative correlation with ash content (r= -0.558, P= 0.0161), whereas ash was negatively correlated with polyphenol content (r= -0.553, P= 0.0172). Al was negatively associated with water extract (r= -0.533, P= 0.0228). In addition, Fe showed a significant negative correlation with crude cellulose (r= -0.515, P= 0.0288), while its correlation with Al was also negative (r= -0.505, P= 0.0327). Conversely, Mn exhibited a positive correlation with Cu (r= 0.504, P= 0.0330), and Fe showed a moderate positive association with polyphenol content (r= 0.499, P= 0.0351). Finally, Ca was negatively correlated with Fe (r= -0.477, P= 0.0453).

Overall, the correlation matrix indicates that mineral elements are closely interrelated and may also be associated with important quality characteristics of fresh tea leaves. The particularly strong relationships involving Mg-Zn, S-water extract, and Ca-water extract suggest that mineral composition may contribute to variation in quality-related traits. The contrasting positive and negative associations among mineral elements further indicate potential interactions or coordinated accumulation patterns within the tea leaf mineral profile. However, correlation analysis identifies associations rather than causal relationships, and these relationships should therefore be interpreted together with the PCA results and the effects of the different sunlight exposure conditions.

PCA Results

Table 2 shows that the first four principal components explained 80.23% of the total variance.

Table 2. Factor loadings, eigenvalues, and variance explained by the first four principal components for the evaluated chemical parameters under full Sunny conditions

	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4
Mg	0.873	-0.035	0.342	-0.024
Water extract	0.752	0.027	-0.620	-0.046
Zn	0.748	0.273	0.577	-0.059
Fe	0.612	-0.579	0.284	0.250
Ash	-0.300	0.804	0.106	0.197
Mn	0.524	0.699	-0.003	-0.005
Crude cellulose	-0.332	0.578	-0.055	-0.286
Cu	0.318	0.485	0.598	0.426

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4
S	-0.637	0.004	0.565	0.193
Dry matter	0.155	0.454	-0.547	0.381
Coffeine	0.100	0.257	0.311	-0.789
Al	-0.785	0.115	-0.041	0.112
Ca	-0.886	0.146	0.214	-0.015
Polyphenol	-0.221	-0.900	0.185	0.018
Eigenvalue	4.728	3.231	2.086	1.188
Variance	33.768	23.081	14.899	8.485
Cumulative variance	33.768	56.849	71.748	80.233

PC1 accounted for 33.77% of the variance and was mainly associated positively with Mg, water extract, Zn, and Fe, while Ca and Al showed strong negative loadings. PC2 explained 23.08% and was characterized primarily by positive loadings of ash, Mn, and crude cellulose, whereas polyphenol had a strong negative loading. PC3 accounted for 14.90%, with relatively high positive contributions from Cu, Zn, and S, and a negative contribution from water extract. PC4 explained 8.49% and was mainly characterized by caffeine, which showed a strong negative loading.

Figure 1 illustrates the relationships among the variables and observations under full sunny conditions. The loading plot generally confirms the separation of variables identified in Table 2. Variables located in similar directions indicate positive associations, whereas variables positioned in opposite directions represent negative relationships. The score plot demonstrates the distribution of observations along PC1 and PC2, indicating variation in the chemical composition of tea leaves under full sunny conditions. Overall, the PCA reveals that mineral composition, water extract, ash, polyphenols, and caffeine contribute substantially to the differentiation of tea samples under full sunlight exposure.

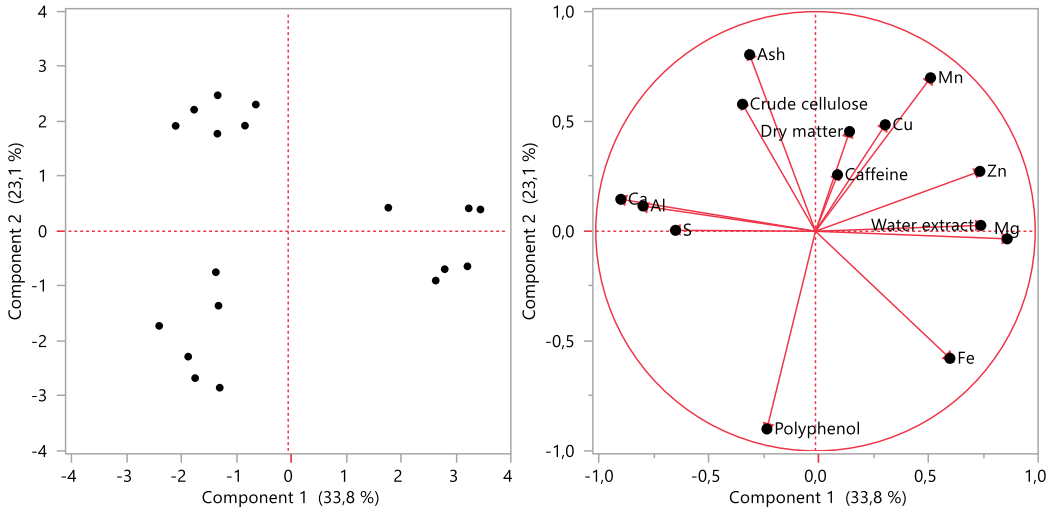


Figure 1. Principal Component Analysis (PCA) plots: (left) Score plot of PC1 vs. PC2 and (right) Loading plot showing the relationships among chemical variables under full sunny conditions

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3.2. Semi-Sunny Exposure Relationships

Correlations

The correlation analysis revealed several statistically significant relationships among mineral elements and quality-related parameters of the tea leaves (Table 3). The strongest positive correlation was observed between Mg and Fe (r= 0.824, $P < 0.0001$), indicating a very strong positive association between these two mineral elements. In contrast, Fe showed a strong negative correlation with Cu (r= -0.783, P= 0.0001), suggesting an inverse relationship between Fe and Cu concentrations.

Among the mineral-quality relationships, Al exhibited a strong positive correlation with caffeine content (r= 0.749, P= 0.0003) and with dry matter (r= 0.727, P= 0.0006). Similarly, Mg was positively correlated with water extract (r= 0.610, P= 0.0072). These relationships indicate that variations in mineral composition may be associated with changes in important chemical and quality characteristics of fresh tea leaves.

Several significant associations were also observed among the mineral elements. Mn was positively correlated with Cu (r= 0.608, P= 0.0075), while Ca showed positive correlations with dry matter (r= 0.594, P= 0.0093) and Mn (r= 0.566, P= 0.0144). Furthermore, S was positively associated with Ca (r= 0.482, P= 0.0426), and Ca showed a positive correlation with Al (r= 0.478, P= 0.0449).

In contrast, Mg showed a significant negative correlation with dry matter (r= -0.528, P= 0.0242) and with Cu (r= -0.499, P = 0.0353). These inverse relationships suggest that higher Mg concentrations were associated with lower dry matter and Cu levels under the conditions examined. Ca was also negatively correlated with Zn (r= -0.469, P= 0.0494).

Table 3. Significant Pairwise Correlations between quality parameters and mineral contents in fresh tea leaves under semi-sunny conditions

Variable	by Variable	Correlation	Signif Prob
Mg	Fe	0.824	<.0001*
Fe	Cu	-0.783	0.0001*
Al	Coffeine	0.749	0.0003*
Al	Dry matter	0.727	0.0006*
Mg	Water extract	0.610	0.0072*
Mn	Cu	0.608	0.0075*
Ca	Dry matter	0.594	0.0093*
Ca	Mn	0.566	0.0144*
Mg	Dry matter	-0.528	0.0242*
Mg	Cu	-0.499	0.0353*
Fe	Water extract	0.494	0.0374*
S	Ca	0.482	0.0426*
Ca	Al	0.478	0.0449*
Caffeine	Dry matter	0.475	0.0466*
Cu	Polyphenol	-0.470	0.0493*
Ca	Zn	-0.469	0.0494*

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Regarding the quality parameters, Fe exhibited a moderate positive correlation with water extract (r= 0.494, P= 0.0374), whereas caffeine was positively correlated with dry matter (r= 0.475, P= 0.0466). Conversely, Cu showed a significant negative correlation with polyphenol content (r= -0.470, P= 0.0493), indicating that higher Cu concentrations were associated with lower polyphenol levels.

Overall, the correlation pattern demonstrates complex interactions between mineral composition and quality-related characteristics of tea leaves. The particularly strong Mg-Fe positive association and Fe-Cu negative association indicate pronounced relationships among mineral elements, whereas the significant associations of Al with caffeine and dry matter suggest that mineral accumulation may be related to key biochemical and compositional characteristics. The positive relationship between caffeine and dry matter, together with the negative association between Cu and polyphenols, further highlights the potential interdependence between mineral status and tea quality attributes. Nevertheless, these correlations represent statistical associations rather than causal relationships and should be interpreted in conjunction with the PCA results and the specific sunlight exposure conditions.

PCA Results

Table 4 shows that the first six principal components explained 87.76% of the total variance. PC1 accounted for 32.27% and was mainly characterized by positive loadings of dry matter, Ca, Al, caffeine, and Cu, whereas Mg and Fe had strong negative loadings. PC2 explained 17.15%, with polyphenol showing the strongest positive loading, while Zn and Cu contributed negatively. PC3 accounted for 13.42% and was primarily associated with water extract, Al, and caffeine. PC4 explained 9.98%, with relatively strong contributions from ash and crude cellulose. PC5 and PC6 explained 7.64% and 7.30%, respectively, with Mn contributing strongly to PC5 and crude cellulose to PC6.

Table 4. Factor loadings, eigenvalues, and variance explained by the first six principal components for the evaluated chemical parameters under semi-sunny conditions

	Prin1	**Prin2**	**Prin3**	**Prin4**	**Prin5**	**Prin6**
Dry matter	0.759	0.343	0.161	0.022	-0.127	0.299
Ca	0.733	0.293	-0.097	0.276	0.383	0.027
Al	0.660	0.040	0.640	0.221	-0.117	0.152
Caffeine	0.659	0.114	0.548	0.205	-0.158	-0.148
Cu	0.646	-0.606	-0.018	-0.318	0.220	-0.051
Polyphenol	-0.097	0.780	-0.483	-0.140	-0.051	-0.221
S	0.453	0.562	-0.112	-0.423	0.334	-0.144
Fe	-0.757	0.422	0.113	0.312	0.252	0.041
Water extract	-0.431	0.376	0.664	-0.133	0.235	-0.056
Ash	-0.008	-0.192	-0.484	0.546	0.123	0.499
Mn	0.563	-0.292	-0.115	0.207	0.611	-0.250
Mg	-0.778	0.044	0.380	0.187	0.381	0.127
Crude cellulose	0.116	0.211	0.016	-0.559	0.166	0.694
Zn	-0.456	-0.636	0.203	-0.356	0.165	0.005
Eigenvalue	4.517	2.401	1.879	1.397	1.070	1.022

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6
Variance	32.267	17.149	13.420	9.981	7.644	7.298
Cumulative variance	32.267	49.416	62.836	72.817	80.460	87.758

Figure 2 supports the patterns observed in the factor-loading matrix. The loading plot indicates distinct associations among the chemical variables, with variables positioned in similar directions showing positive relationships and those in opposite directions indicating negative associations. The score plot demonstrates the distribution of tea samples along PC1 and PC2, reflecting differences in their chemical composition under semi-sunny conditions. Overall, the PCA indicates that mineral elements, dry matter, polyphenols, caffeine, and water extract were important contributors to the variation in tea chemical characteristics under semi-sunny conditions.

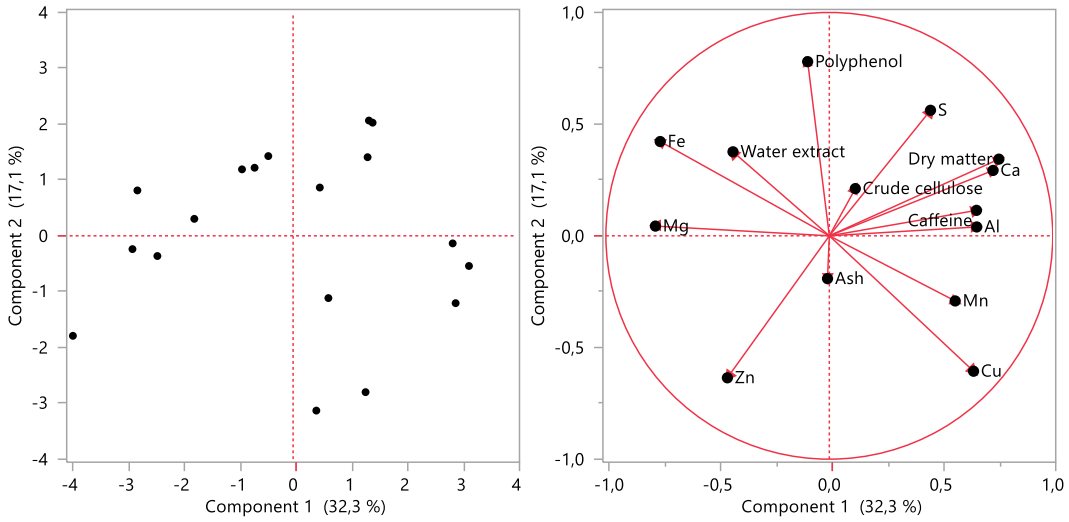


Figure 2. Principal Component Analysis (PCA) plots: (left) Score plot of PC1 vs. PC2 and (right) Loading plot showing the relationships among chemical variables under semi-sunny conditions

3.3. Shady Conditions Exposure Relationships

Correlations

The correlation analysis revealed several strong and statistically significant relationships among mineral elements and quality-related parameters of the tea leaves (Table 5).

The strongest correlation was observed between Ca and Mg, which exhibited a very strong negative association ($r = -0.926$, $P < 0.0001$). In contrast, Ca showed a strong positive correlation with Mn ($r = 0.876$, $P < 0.0001$), while S was strongly and positively correlated with Ca ($r = 0.842$, $P < 0.0001$). A strong negative relationship was also observed between S and Mg ($r = -0.807$, $P < 0.0001$).

Several strong associations were identified between mineral elements and dry matter content. Fe showed a strong negative correlation with dry matter ($r = -0.799$, $P < 0.0001$), whereas Ca was strongly and positively correlated with dry matter ($r = 0.779$, $P = 0.0001$). Similarly, Mn

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

showed a strong positive correlation with dry matter (r= 0.752, P= 0.0003), while S was positively associated with dry matter (r= 0.698, P= 0.0013). In contrast, Mg exhibited a significant negative correlation with dry matter (r= -0.681, P = 0.0018).

The mineral elements also showed several significant interrelationships. S was positively correlated with Mn (r= 0.778, P= 0.0001), whereas Mg was negatively correlated with Mn (r= -0.746, P= 0.0004). Al showed a significant negative correlation with Mn (r= -0.676, P= 0.0021). In addition, S was negatively correlated with Zn (r= -0.576, P= 0.0123), while S and Fe (r= -0.513, P= 0.0295) and Ca and Fe (r= -0.506, P= 0.0323) also exhibited significant negative relationships. Conversely, Mg was positively correlated with Zn (r= 0.496, P= 0.0363) and Fe (r= 0.485, P= 0.0414).

Table 5. Significant Pairwise Correlations between quality parameters and mineral contents in fresh tea leaves under shady conditions

Variable	by Variable	Correlation	Signif Prob
Ca	Mg	-0.926	<.0001*
Ca	Mn	0.876	<.0001*
S	Ca	0.842	<.0001*
S	Mg	-0.807	<.0001*
Fe	Dry matter	-0.799	<.0001*
Ca	Dry matter	0.779	0.0001*
S	Mn	0.778	0.0001*
Mn	Dry matter	0.752	0.0003*
Mg	Mn	-0.746	0.0004*
S	Dry matter	0.698	0.0013*
Mg	Dry matter	-0.681	0.0018*
Al	Mn	-0.676	0.0021*
Cu	Polyphenol	-0.642	0.0041*
Fe	Polyphenol	-0.620	0.0060*
Al	Dry matter	-0.584	0.0110*
S	Zn	-0.576	0.0123*
Polyphenol	Dry matter	0.552	0.0175*
S	Fe	-0.513	0.0295*
Ca	Fe	-0.506	0.0323*
Mn	Zn	-0.496	0.0364*
Mg	Zn	0.496	0.0363*
Mg	Fe	0.485	0.0414*

With respect to quality characteristics, Cu showed a significant negative correlation with polyphenol content (r= -0.642, P= 0.0041), while Fe was also negatively associated with polyphenol content (r= -0.620, P= 0.0060). These relationships suggest that increasing concentrations of Cu and Fe were associated with decreasing polyphenol levels under the conditions examined. Conversely, polyphenol content showed a moderate positive correlation with dry matter (r= 0.552, P= 0.0175), indicating that higher dry matter values tended to be accompanied by higher polyphenol concentrations.

A significant negative relationship was also observed between Al and dry matter (r= -0.584, P=

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

0.0110). Collectively, these results indicate that Ca, Mn, and S were generally positively associated with dry matter, whereas Mg, Fe, and Al showed negative relationships with this quality parameter. The contrasting correlation patterns among mineral elements further suggest coordinated mineral accumulation or possible antagonistic relationships within tea leaves.

Overall, the correlation structure demonstrates strong interdependence among mineral elements and important tea quality characteristics. Particularly pronounced relationships were observed for Ca-Mg, Ca-Mn, S-Ca, and S-Mg, while the significant associations involving dry matter and polyphenols indicate that mineral composition may be closely linked to the biochemical and compositional characteristics of tea leaves. However, these findings represent correlations rather than causal relationships and should therefore be interpreted together with the PCA results and the respective sunlight exposure conditions.

PCA Results

Table 6 shows that the first four principal components explained 78.72% of the total variance. PC1 accounted for 38.92% and was mainly characterized by strong positive loadings of Ca, dry matter, Mn, and S, whereas Mg, Fe, Al, and Zn showed negative loadings. PC2 explained 17.45%, with polyphenol showing a strong negative loading and Cu and crude cellulose showing strong positive loadings. PC3 accounted for 13.16% and was primarily associated with caffeine and ash, while water extract showed a relatively strong negative loading. PC4 explained 9.18%, with relatively notable contributions from ash, Cu, and Zn.

Table 6. Factor loadings, eigenvalues, and variance explained by the first four principal components for the evaluated chemical parameters under shady conditions

	Prin1	**Prin2**	**Prin3**	**Prin4**
Ca	0.927	0.250	-0.045	-0.060
Dry matter	0.899	-0.180	-0.211	0.249
Mn	0.899	0.177	0.228	0.157
S	0.882	0.108	-0.011	-0.292
Polyphenol	0.442	-0.792	0.031	-0.107
Cu	-0.042	0.767	-0.146	0.407
Crude cellulose	0.205	0.701	0.308	-0.261
Fe	-0.680	0.485	0.374	-0.120
Caffeine	0.021	-0.441	0.686	0.007
Ash	0.089	0.126	0.622	0.602
Mg	-0.857	-0.297	0.032	0.230
Water extract	0.349	0.152	-0.602	0.169
Al	-0.593	0.183	-0.219	-0.486
Zn	-0.527	-0.081	-0.466	0.413
Eigenvalue	5.449	2.443	1.843	1.286
Variance	38.919	17.450	13.163	9.182
Cumulative variance	38.919	56.369	69.533	78.715

Figure 3 illustrates the relationship among the chemical variables and the distribution of tea samples under shady conditions. The loading plot indicates a clear separation between groups of variables, particularly the positive association of Ca, Mn, S, and dry matter along PC1 and

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

the contrasting position of Mg, Fe, Al, and Zn. The score plot demonstrates the distribution of samples along PC1 and PC2, reflecting variation in their chemical composition under shaded conditions. Overall, the PCA indicates that mineral elements, particularly Ca, Mn, S, and Mg, together with dry matter and polyphenol content, were major contributors to the chemical variation of tea leaves under shady conditions.

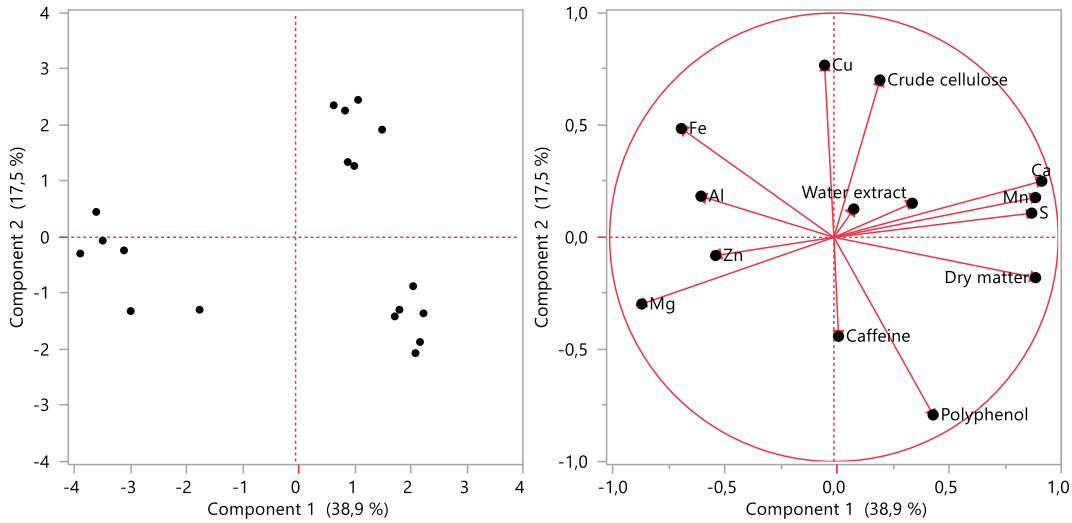


Figure 3. Principal Component Analysis (PCA) plots: (left) Score plot of PC1 vs. PC2 and (right) Loading plot showing the relationships among chemical variables under shady conditions

General Comparison of the Three Conditions

Overall, the three sunlight exposure conditions exhibited distinct correlation patterns between mineral elements and tea quality parameters. The first condition was characterized by particularly strong relationships of Mg with Zn and of S and Ca with water extract, whereas the second condition showed prominent associations involving Mg-Fe, Fe-Cu, Al-caffeine, and Al-dry matter. In the third condition, the correlation structure was more pronounced, with very strong relationships among Ca, Mg, Mn, and S, particularly the negative Ca-Mg and positive Ca-Mn associations.

Across the three conditions, several relationships involving dry matter, polyphenols, and mineral elements were consistently significant, although their direction and magnitude varied. This variation indicates that sunlight exposure conditions may influence the strength and direction of interactions between mineral composition and tea quality characteristics. The third condition, in particular, exhibited the most pronounced mineral-mineral correlations, while the first and second conditions showed stronger associations involving specific quality parameters such as water extract, caffeine, and polyphenols. Overall, the results demonstrate that the relationships between mineral accumulation and tea quality are condition-dependent rather than uniform across sunlight exposure environments.

Overall, the PCA results revealed that the chemical structure of tea leaves differed considerably

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

among the three sunlight conditions. Under full sunny conditions, the first four PCs explained 80.23% of the total variance, with Mg, water extract, Zn, Fe, Ca, and Al being prominent contributors. Under semi-sunny conditions, six PCs were required to explain 87.76%, and the variation was mainly associated with dry matter, Ca, Al, caffeine, Cu, polyphenols, and Fe. Under shady conditions, the first four PCs explained 78.72%, with Ca, dry matter, Mn, and S dominating PC1, while Mg, Fe, Al, and Zn contributed negatively.

Thus, the PCA indicates that sunlight exposure altered the relative contribution and association of mineral and quality parameters. Full sunny conditions emphasized Mg- and Zn-related variation, semi-sunny conditions showed a broader distribution of chemical characteristics across six components, whereas shady conditions were more strongly characterized by Ca, Mn, S, and dry matter. Overall, these findings support a condition-dependent pattern in the chemical composition and quality characteristics of tea leaves.

Previous reports have indicated that significant negative and positive relationships can exist between leaf element levels and the content of certain key chemical components in tea, regardless of insolation conditions (Tseng and Lai, 2022; Yang et al., 2023). Furthermore, six key elements (N, Mn, C, P, Sr, and Mg) were reported to exhibit significant positive correlations with growth, photosynthesis, and quality indices of the tea plant, whereas barium (Ba) displayed a significant negative correlation (Jia et al., 2024). Additionally, notable relationships have been documented in Turkish teas between fresh leaf yield and the mineral element content and quality attributes of both fresh tea leaves and different dry tea grades (Bostan, 2022). In line with these earlier findings, significant relationships were also identified between leaf mineral elements and quality parameters in the present study.

High solar radiation and high-temperature stress have been shown to stimulate the synthesis of chemical components (Ahmed et al., 2019). A previous study demonstrated that light transmittance was positively correlated with total polyphenol content, while catechin derivatives decreased with increasing shade levels. Conversely, total amino acid content exhibited a positive correlation with shading rate, reaching its maximum under 99% shading treatment (Ge et al., 2024). Furthermore, altering field light intensity and spectral composition can modulate the flavor/aroma profile and regulate plant growth in tea leaves (Ye et al., 2021). Consistent with these observations, our study revealed that the relationships between quality parameters and mineral contents varied under different insolation conditions, indicating differential physiological responses of the tea plant to distinct light regimes.

In Turkish teas, the mineral element composition of tea leaves and their corresponding quality parameters vary according to the insolation status of the orchards, with these variations further displaying element-specific patterns (Demir and Bostan, 2018; 2021).

4. CONCLUSIONS

Sunlight exposure regimes fundamentally reshape the physiological linkages between mineral nutrients and quality parameters in fresh tea leaves.

High irradiance in full sunny conditions supports water extract and key metabolic cations (Mg,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Zn, Fe) while Ca and S hinder extractability.

Low irradiance in shady conditions accentuates cation antagonism (notably Ca vs. Mg, r= -0.926) and concentrates system variance into the primary principal component.

Intermediate light (semi-sunny) induces higher trait dispersion, requiring five components to capture cumulative variation where caffeine and dry matter co-vary with Al and Ca.

Polyphenol accumulation mechanisms switch their association with trace minerals (Fe, Cu) depending on light availability, underscoring the need for light-adjusted fertilization practices in tea production.

5. REFERENCES

Ahmed, S., Griffin, T. S., Kraner, D., Schaffner, M. K., Sharma, D., Hazel, M., ... & Cash, S. B. (2019). Environmental factors variably impact tea secondary metabolites in the context of climate change. Frontiers in plant science, 10, 939. doi: 10.3389/fpls.2019.00939

Anonymous (1976). Çay Tarımını Geliştirme ve Islahı Projesi http://biriz.biz/cay/ulkemizde.htm (Erişim tarihi: 25.11.2016).

Anonymous (2013). www.dkib.org.tr/files/...1bea.../CAY-RAPOR (Erişim tarihi: 01.11.2016)

Anonymous (2016). https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87ay_(bitki) (Erişim tarihi:22.03.2016).

Bostan, S.Z. (2022). Yaş ve Kuru Çayın Fizikokimyasal Özellikleri ile Verim Arasındaki İlişkiler. Abant 1st International Conference on Scientific Researches, December 1 - 4, 2022, Abant – Bolu. Bildiriler: 103-115.

Demir, N., & Bostan, S. Z. (2018). Variation of mineral matter contents in fresh tea (Camelia sinensis L.) leaf according to sunshine conditions and harvest periods. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(3), 261-267.

Demir, N., & Bostan, S. Z. (2021). Yaş çay (*Camelia sinensis* L.) verimi ve kalite özelliklerinin güneşlenme durumu ve sürgün dönemlerine göre değişimi. Bahçe, 50(2), 103-110.

Elmas, C., & Gezer, C. (2019). Çay bitkisinin (*Camellia sinensis*) bileşimi ve sağlık etkileri. Akademik Gıda, 17(3), 417-428.

FAO (2024). https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

Ge, S., Wang, Y., Shen, K., Wang, Q., Ahammed, G. J., Han, W., ... & Shi, Y. (2024). Effects of differential shading on summer tea quality and tea garden microenvironment. Plants, 13(2), 202. https://doi.org/10.3390/ plants13020202

Jia, M., Wang, Y., Zhang, Q., Lin, S., Zhang, Q., Chen, Y., ... & Wang, H. (2024). Effect of soil pH on the uptake of essential elements by tea plant and subsequent impact on growth and leaf quality. Agronomy, 14(6), 1338. https://doi.org/10.3390/agronomy14061338

Kacar, B. (1991). Çay ve Çay Topraklarının Kimyasal Analizleri, I. Çay Analizleri. Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Çaykur Yayını, Ankara, No:14, s.331.

Kacar, B. (2010). Çay-çay bitkisi, biyokimyası, gübrelenmesi ve işleme teknolojisi. Nobel Yayınları No: 1549, Fen Bilimleri: 107.

Khan, N., & Mukhtar, H. (2013). Tea and health: studies in humans. Current pharmaceutical design, 19(34), 6141-6147.

Koca, İ., & Bostancı, Ş. (2014). Production, composition, and health effects of oolong tea. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 2(3), 154-159.

Topuz, A., Dinçer, C., Torun, M., Tontul, I., Nadeem, H.Ş., Haznedar, A., & Özdemir, F. (2014). Physicochemical properties of Turkish green tea powder: effects of shooting period, shading, and clone. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 38(2), 233-241.

Tseng, W. Y., & Lai, H. Y. (2022). Comprehensive analysis revealed the specific soil properties and foliar elements respond to the quality composition levels of tea (*Camellia sinensis* L.). Agronomy, 12(3), 670. https://doi.org/10.3390/ agronomy12030670

Turan, M. A., Balcı, M., Taşkın, M. B., Kalcıoğlu, Z., Soba, M. R., Müezzinoğlu, N., ... & Taban, S. (2016). Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yetiştirilen çay bitkisi (*Camellia sinensis* L.) yaşlı yapraklarının su ekstraktı, toplam kül, toplam polifenol, kafein ve ham selüloz içerikleri. Toprak Su Dergisi, 5(2), 52-58.

Üstün, Ç., & Demirci, N. (2013). Çay bitkisinin (*Camellia sinensis* L.) tarihsel gelişimi ve tıbbi açıdan değerlendirilmesi. Lokman Hekim Dergisi, 3(3), 5-12.

Yang, B., Jiang, J., Zhang, H., Han, Z., Lei, X., Chen, X., ... & Fang, W. (2023). Tea quality estimation based on multi-source information from leaf and soil using machine learning algorithm. Food Chemistry: X, 20, 100975. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100975

Ye, J. H., Lv, Y. Q., Liu, S. R., Jin, J., Wang, Y. F., Wei, C. L., & Zhao, S. Q. (2021). Effects of light intensity and spectral composition on the transcriptome profiles of leaves in shade grown tea plants (Camellia sinensis L.) and regulatory network of flavonoid biosynthesis. Molecules, 26(19), 5836. https://doi.org/ 10.3390/molecules26195836

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

NARLARDA (*Punica granatum* L.) GÖRÜLEN BAŞLICA HASTALIKLAR VE FİZYOLOJİK SORUNLAR

Doç. Dr. Meltem AVAN
Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü
meltemavan@adiyaman.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-2939-8177

ÖZET

Nar (*Punica granatum* L.), Lythraceae familyasına ait, dünyanın kurak ve yarı kurak bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilen yaprak döken çalı formunda bir bitki türüdür. İsmi Latince "çok çekirdekli elma" anlamına gelen bu meyve, üretim sürecinde hem rekolte hem de kalite açısından ciddi kayıplara yol açan çeşitli fungal, bakteriyel ve nematod kökenli hastalıkların yanı sıra abiyotik stres faktörlerinin de tehdidi altındadır. Meyve çürüklüğü ve solgunluğa neden olan fungal etmenler, nar üretimini sınırlayan başlıca biyotik unsurlar arasında yer almaktadır. Uygun çevresel koşullarda Cercospora yaprak lekesi ve antraknoz hastalıkları da önemli düzeyde ürün kayıplarına sebebiyet verebilmektedir. Depolama ve işleme aşamalarında meyvede sıklıkla karşılaşılan fungal etmenler; *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, *Penicillium implicatum*, *Coniella granati* ve *Aspergillus niger*'dir. Bunların yanı sıra, *Xanthomonas axonopodis* pv. *punicae* patojeninin yol açtığı bakteriyel yanıklık, gelişim dönemindeki meyveleri enfekte ederek ağır zararlara neden olan kritik bir hastalıktır. Olgunlaşma döneminde ortaya çıkan meyve çatlaması, güneş yanıklığı ve dolu hasarı ise küresel ölçekte ekonomik kayıpları artıran temel fizyolojik problemlerdir. Bu bildiri; nar yetiştiriciliğinde ve değer zincirinde kayıplara yol açan tüm bu patojenleri, hastalık semptomlarını ve fizyolojik bozuklukları ayrıntılı biçimde inceleyerek, söz konusu etmenlerin teşhisi ve anlaşılmasına yönelik kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Nar, fungal patojenler, bakteriyel patojenler, abiyotik faktörler

1. GİRİŞ

Kültürü oldukça eski tarihlere dayanan ve *Punica granatum* olarak adlandırılan nar, kökeni İran coğrafyasına uzanan, özellikle kurak ve yarı kurak iklim koşullarına yüksek adaptasyon yeteneğiyle öne çıkan stratejik bir meyve türüdür. Geniş bir coğrafyada yetiştirilen ve uluslararası meyve ticaretinde yüksek katma değerli bir ihracat ürünü olarak bilinmektedir [1,2].

Nar zengin besin profili ve içerdiği yüksek antioksidan içeriği nedeniyle, hem taze tüketim pazarlarında hem de gıda sanayisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Taze meyve olarak tüketilmesinin yanı sıra, şişelenmiş meyve suyu, şurup ve jöle yapımında da

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

işlenmektedir. Meyvenin kabuğu ve suyu tıbbi özelliklere sahiptir [2,3].Ancak, narın sahip olduğu bu yüksek ticari ve besleyici potansiyel, üretimden tüketime kadar uzanan süreçte karşılaşılan biyotik ve fizyolojik sorunlar nedeniyle ciddi kısıtlamalarla karşı karşıyadır. Meyvenin uzun süreli depolanması ve pazarlanması aşamalarında; kabuk çatlamaları, soğuk zararları, kabuk haşlanması ve yüksek orandaki ağırlık kayıpları gibi fizyolojik bozukluklar ürünün kalitesini düşürmektedir [4]. Buna ek olarak, hasat öncesi ve sonrası dönemlerde gelişen çeşitli fungal ve bakteriyel patojenler, dokularda sebep oldukları tahribatlarla meyveyi pazarlanamaz hale getirmektedir [5,6]. Patojenlerin narda enfeksiyon oluşturma yolları oldukça çeşitlidir. Çiçeklenme döneminde taç yaprak, tepecik veya erkek organlar üzerinden giren patojenler, dokularda latent olarak kalabilmekte; gelişim sürecinde belirti göstermeksizin depolama aşamasında aktif hale geçerek geç semptomlar oluşturabilmektedir [7,8]. Bunun yanı sıra kutikula üzerinden doğrudan girişler, böcek zararları ya da mekanik yaralanmalar sonucunda oluşan doku hasarları da patojenlerin ana giriş kapılarını oluşturur. Genel olarak meyve yüzeyi çürüklükleri, iç meyve enfeksiyonları ve sap sonu çürüklükleri şeklinde sınıflandırılan bu bozukluklar, %10 ila %25 arasında değişen, şiddetli salgın durumlarında ise ürün kaybıyla sonuçlanabilen yıkıcı hasat sonrası zararlanmalara yol açmaktadır [9,10].

Hasat sonrası süreçte özellikle gelişmekte olan üretici ülkelerde, yanlış ambalajlama, uygunsuz taşıma ve soğuk depolama altyapısındaki eksiklikler, ürün kayıplarını %25-38 gibi kritik seviyelere çıkarabilmektedir [11,12]. Soğuk depolama sırasında kasalanmış ürünler arasında fungal enfeksiyonların hızla yayılması ticari boyuttaki kaybı daha da artırmaktadır [13,14]. Bu kayıplar bir yandan üreticilerin pazar paylarını ve rekabet güçlerini zayıflatarak finansal zararlara yol açarken [15,16]; diğer yandan artan birim maliyetler ve azalan ürün arzı nedeniyle tüketicilerin kaliteli ve besleyici taze meyveye erişimini zorlaştırmaktadır [17].

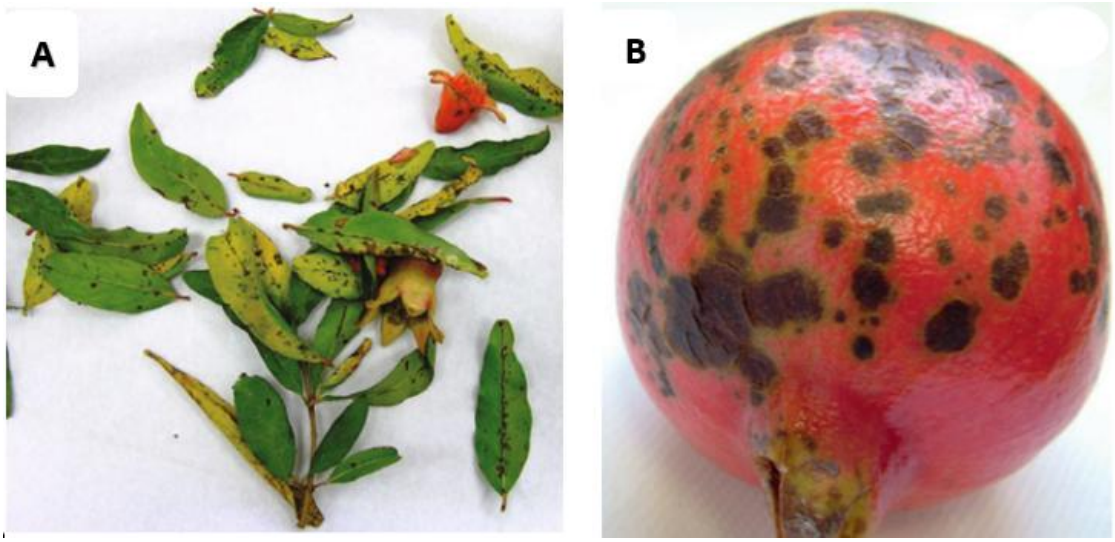
Bu nedenlerden yola çıkarak, narda kalite kayıplarına yol açan etmenlerin, özellikle latent seyreden hastalık artışının doğru değerlendirilmesi, hijyen ve sanitasyon standartlarının iyileştirilmesi ve tedarik zinciri boyunca etkili, sürdürülebilir yönetim stratejilerinin geliştirilmesi, hem üretici hem de tüketici refahının korunması açısından hayati bir gerekliliktir.

2. NARLARDA GÖRÜLEN BAŞLICA BİYOTİK HASTALIK ETMENLERİ

2. 1. Alternaria Siyah Leke Hastalığı (*Alternaria alternata* (Fr.) Keissl)

Alternaria alternata'nın yol açtığı Alternaria siyah lekesi, nar yaprakları ile meyve kabuğu üzerinde ortaya çıkan küçük, dairesel yapıda ve kırmızımsı-kahverengi ila siyah tonlarındaki lezyonlarla ayırt edilir [18,19]. Meyve yüzeyindeki nekrotik lezyonların etrafında belirgin yeşilimsi-sarı renkte klorotik bir halka gözlemlenmekte [18] ve bu lekelerin yüzeyi kaplama oranı %1 ile %50'nin üzerindeki değerler arasında değişkenlik gösterebilmektedir. Enfekteli yapraklarda kloroz gelişerek yaprak dökümü tetiklenirken, meyvedeki semptomlar ilk aşamada yalnızca kabuk dokusuyla sınırlı kalmaktadır [20] (Görsel 1).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

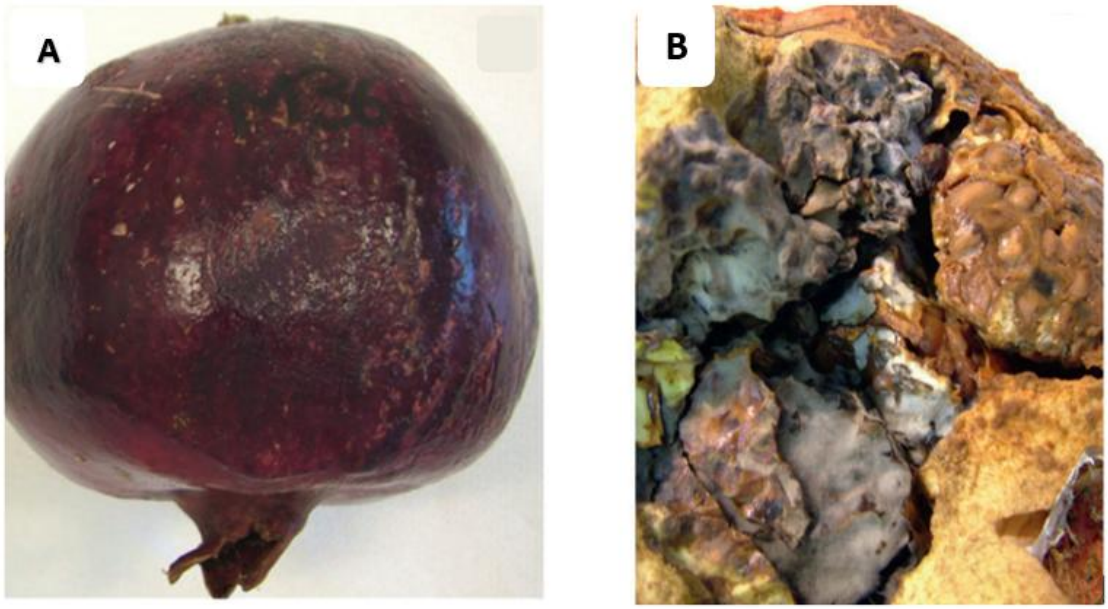


Görsel 1. *A. alternata*'nın neden olduğu nar yapraklarındaki (A) [18] ve meyvelerindeki (B) Alternaria siyah lekeleri [21]

2. 2. *Alternaria* İç Çürüklüğü (*Alternaria alternata*)

Nar yetiştiriciliğinde önemli ekonomik kayıplara yol açan "siyah kalp" veya "iç çürüklüğü" (heart rot) hastalığının birincil etmeni *Alternaria alternata* olarak bilinmekle birlikte [22], *Aspergillus niger*'in de nar meyvelerinde benzer iç çürüklüğü zararlanmalarına neden olduğu bildirilmiştir [8,23]. Hastalığın en belirgin özelliği, dış meyve kabuğunda kayda değer bir semptom oluşturmaması nedeniyle dışarıdan teşhisinin oldukça güç olması nedeniyle bu durum enfekte meyvelerin tasnif aşamasını geçerek işleme tesislerine ve ambalaj hatlarına kadar ulaşmasına zemin hazırlamaktadır [22]. Dış kabuk dokusu sağlamlığını ve normal görünümünü korurken, meyve içi enfeksiyonu çiçek tacı bölgesinden başlayarak iç bölmelerin kısmen ya da tamamen bozunmasına yol açar [23]. Bazı vakalarda enfekte meyvelerde hafif renk sapmaları gözlenebilse de en tipik fiziksel değişim, iç doku harabiyeti ve kütle kaybına bağlı olarak meyve ağırlığının azalmasıdır [22]. Bu kütle kaybı sayesinde enfekte meyveler su havuzlarında yıkama esnasında yüzme eğilimi gösterir ve bu yoğunluk farkı, sağlıklı meyvelerden ayırt edilmesinde pratik bir yöntem sunmaktadır (Görsel 2).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 2. *Alternaria* spp. kaynaklı iç çürüklüğü meyve görüntüsü (A), etmenin miselyum gelişiminin yakından görünümü (B) [21]

2. 3. *Aspergillus* Meyve Çürüklüğü (*Aspergillus niger*)

Genellikle yaralardan giriş yapan fırsatçı bir çürüklük etmeni olarak tanımlanan *Aspergillus niger*, çok sayıda meyve türünde enfeksiyona yol açabilen yaygın bir patojendir. Patojenle enfekte olmuş meyve yüzeylerinde çoğunlukla renk solması görülmekte; bu durum sarımsı, kahverengimsi veya mat kırmızı tonlarda renk bozulmaları şeklinde gözlenmektedir. Söz konusu çürüklük; özellikle yüksek sıcaklıktaki depolama koşullarında kabukta meydana gelen çatlak, yarık ve doku hasarlarıyla doğrudan ilişkilidir. Meyve kabuğundaki bu fiziksel bütünlük bozulmaları, ortam hazırlayarak bakteriyel *Erwinia* sp. ve funguslardan *Saccharomyces* sp. ikincil enfeksiyonların gelişimini kolaylaştırmaktadır. *Aspergillus* spp. kaynaklı meyve çürüklüğü enfeksiyonları, esasen çiçeklenme ve erken meyve tutumu evrelerinde yağışları takiben bahçede görülmektedir. Patojen, *Alternaria* çürüklüğüne benzer biçimde, dış kabukta herhangi bir semptom oluşturmaksızın meyve iç dokusunda sessizce gelişimini sürdürür. Söz konusu fungal kolonizasyon; çoğunlukla böcek zararı, mekanik yaralanma, güneş yanığı, kuş zararlanması sonucu oluşan doku çatlaklarıyla doğrudan ilişkilidir [23] (Görsel 3).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 3. *Aspergillus* meyve çürüklüğü belirtileri [24]

2. 4. *Coniella granati* Meyve Çürüklüğü

Hasat sonrası depolama sürecinde enfekte olan meyvelerde tam çürüme meydana gelmekte ve bu durum %50'ye ulaşan ürün kayıplarına yol açabilmektedir. Yaygın olarak nar yaprak lekesi olarak da tanınan etmen, gövde ile kök boğazı bölgesinde kanser lezyonlarına neden olarak genç nar sürgünlerinin direncini kırmakta ve nihayetinde kurumalarına yol açmaktadır [25]. İlk belirtilerin küçük, dairesel lekeler şeklinde şekillendiği, ilerleyen dönemlerde ise bu lekelerin genişleyerek belirgin kahverengi nekrotik alanlara dönüştüğü görülür [5]. Hastalıklı meyvelerde, kadifemsi yapıda krem rengi koloniler ile yoğun miktarda koyu kahverengi-siyah tonlarında küresel piknit oluşumu göze çarpar [26]. Çürüyen meyve kabukları sıklıkla bu tabakasıyla kaplanır. Enfeksiyonun ilerlemesiyle sulu tane yapısı kahverengileşerek yumuşak ve sulu bir kıvam alır; beraberinde meyve zarları ve dış kabuk da kahverengiye dönüşür. Sulu tane, iç zarların ve meyve kabuğunun yüzeyinde, belirgin biçimde geniş, eliptik, renksiz ve tek hücreli konidiler içeren siyah fungal yapıları gelişebilmektedir. Bu çürüklük; kabuk üzerinde düzensiz serpiştirilmiş siyah noktaların bulunması ve bu noktaların çevresinde siyah bir halkanın oluşması gibi ayırt edici semptomlarıyla *Alternaria* çürüklüğü, *Aspergillus* çürüklüğü ve gri küf enfeksiyonlarından ayrılmaktadır [27] (Görsel 4).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 4. *Coniella granati* çürüklüğü meyve belirtileri [28]

2. 5. *Penicillium* Çürüklüğü

Hasat, taşıma ve depolama aşamalarında meyve kabuğunda meydana gelen fiziksel yaralanmalar, *Penicillium* cinsine bağlı fungal patojenlerin dokuya girişini kolaylaştırarak mavi/yeşil küf çürüklüğüne zemin hazırlamaktadır. Nar meyvelerinde çürüklüğe yol açan yara patojeni olan Penicillium türleri *P. implicatum* [29-31], *P. glabrum* [30] ve *P. crustosum, P. expansum, P. minioluteum* ile *P. solitum* türleri öne çıkmıştır [29]. Bunların yanı sıra tür düzeyinde teşhisi yapılmamış *Penicillium* izolatlarının da önemli düzeyde hasat sonrası ürün kaybına sebebiyet verdiği rapor edilmiştir [27,32]. Hastalığın ilk görsel belirtisi, meyve kabuğu üzerinde gelişen dairesel, ıslak lezyonlar ve yumuşama görülmektedir [31]. Enfeksiyon ilerledikçe bu alanların üzerinde önce yeşil, ardından mavi-yeşil renge dönüşen tozsu bir spor tabakası görülmektedir. İleri enfeksiyon safhalarında fungal hifler içerde ilerleyerek tane dokusuna kadar ulaşır ve tane yapısının bozularak sulu bir çürüklüğe dönüşmesine neden olur. Bu çürük alanlar sarımsı renkten zamanla koyu yeşil-kahverengiye dönüşür [26] (Görsel 5).

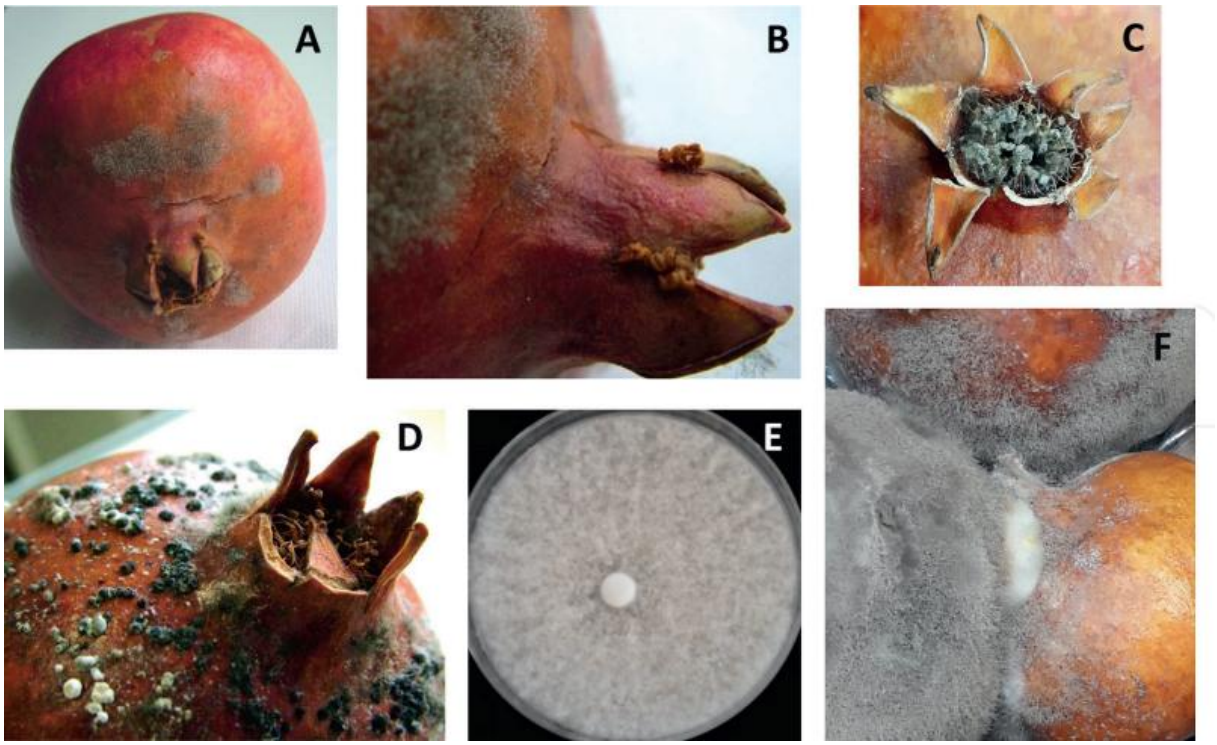


Görsel 5. *Penicillium* meyve çürüklüğü belirtileri [26]

2. 6. Gri Küf Çürüklüğü (*Botrytis cinerea*)

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Hasat sonrası dönemde en ağır ekonomik kayıplara yol açan fungal etmenlerin başında gelen nekrotrofik bir patojen olan *Botrytis cinerea*, nar depolamasında ürün kayıplarının %30'a ulaşmasına neden olabilmektedir [33,34]. Etmen, kabukta oluşan mekanik zararlanmalar sonucu çiçek tacı dokularına yerleşerek meyve içerisine doğru ilerler ve çürüklüğü başlatır [8]. Patojen, çiçek tacı bölgesinde gözlenen gri renkli fungal misel örtüsü ve buradan meyvenin alt kısımlarına doğru genişleyen açık kahverengi-bej lezyonları ile tanınır [7]. Doku tahribatı belirginleştikçe tanelerden kırmızı renkli meyve suyu sızıntısı başladıkça lezyon rengi belirgin biçimde koyulaşmaktadır. İlerleyen safhalarda meyve kabuğunda çatlamalar ile çürük alanların üzerinde yoğun gri misel tabakası görünür hale gelmektedir. Enfekteli meyvelerden sağlıklı olanlara temas yoluyla bulaşmakta ve depolarda kümeleşme tipi toplu çürümelere yol açmaktadır [35] (Görsel 6).



Görsel 6. *Botrytis cinerea* gri küf. Çürümenin erken evresi (A). sporlu gri miselyum görünümü (B), enfekte erkek organlar (C), siyah sklerotlar (D), PDA üzerinde etmenin genç kolonisi (E), meyveler arasında kümelenme şeklindeki ikincil enfeksiyon (F) [21,36]

2. 7. Solgunluk Etmeni (*Ceratocystis fimbriata, Fusarium oxysporum* ve *Verticillium dahliae*)

Nar yetiştiriciliğinde önemli verim ve ağaç kayıplarına yol açan solgunluk hastalığının birincil etmeni *Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halsted iken sonra *Fusarium oxysporum* Schltdl. ve *Verticillium dahliae* Kleb. gibi toprak kökenli fungal patojenlerin de nar bahçelerinde solgunluk oluşumuna neden olduğu bildirilmiştir Enfeksiyona maruz kalmış dallardaki yapraklarda kloroz (sararma) ile başlamakta; ardından dalda pörsüme ve solgunluk belirtileri görülmektedir. Enfeksiyonun ilerlemesiyle birlikte ağaçlar birkaç hafta gibi kısa bir sürede tamamen kuruyarak genel bir solgunluk göze çarpar [37-39]. Bazı vakalarda semptomlar aniden

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

gelişerek tüm taç aksamında hızlı bir yaşlanmasına yol açabilmektedir. Kuruyan yaprak ile meyvelerin uzun süre dallarda asılı kalması hastalığın tipik arazi teşhis kriterleri arasında yer almaktadır [40]. Etmenin enfeksiyonu sonucu ksilem dokusunda koyu kırmızımsı-kahverengiden morumsu-siyaha kadar değişen vasküler nekrozlar ve renk bozulmaları gözlenmekte, kök veya gövde dokularının enine ve boyuna kesitlerinde, iletim demetleri ile çevresindeki koyu grimsi-kahverengi çizgilenmeler dikkat çekmektedir [37]. Patojen, bahçe içerisinde yan yana duran ağaçlara kök temasıyla geçebileceği gibi, farklı bloklara rastgele odaklı olarak da yayılabilme özelliği taşımaktadır [40] (Görsel 7).



Görsel 7. *Ceratocystis fimbriata*'nın neden olduğu fungal kaynaklı solgunluk [41] (A), enfekte bitkinin gövdesinde, iletim dokularındaki koyu kahverengi renk değişimini gösteren boyuna kesit [42] (B)

2. 8. Bakteriyel Yanıklık Çürüklüğü (*Xanthomonas axonopodis* pv. *punicae*)

Nar yetiştiriciliğinde yıkıcı etkilere sahip olan bakteriyel yanıklık hastalığının etmeni *Xanthomonas axonopodis* pv. *punicae* epidemi oluşturma potansiyeli yüksek olan ve nar üretim alanlarında önemli salgınlar yapan bir patojendir [16,39,43,44]. Patojen, konukçunun tüm vejetatif ve generatif aksamlarında semptom oluşturabilmektedir. Yaprak ve meyve yüzeylerinde önce küçük, koyu kahverengimsi ıslak lezyonlar şeklinde kendini gösterirken şiddetli enfeksiyonlarda bu lezyonlar birleşerek yaprak ayasını kaplar ve erken yaprak dökümüne neden olur. Etmen meyve yüzeyindeki mikro çatlakların ve yarıkların oluşmasına neden olmakta, zamanla genişleyen lezyonların birleşmesi meyve yarılmalarına ve buna bağlı olarak mavi küf çürüklüğü gibi sekonder enfeksiyonların oluşmasına neden olmaktadır. Odunsu dokularda ise sürgün ve gövdelerde kuşaklanma meydana gelerek dallarda kuruma ve kırılmalar gözlenmekte; hastalığın ileri safhalarında ise ana gövde ve kalın dallarda kanser oluşumları dikkati çekmektedir [39] (Görsel 8).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 8. *Xanthomonas axonopodis* pv. *punicae*'nin neden olduğu nar bakteriyel yanıklığı [41]

3. NARLARDA GÖRÜLEN FİZYOLOJİK SORUNLAR

Nar yetiştiriciliğinde ürün verimi ve pazar değerini doğrudan etkileyen fizyolojik bozukluklar; genetik, iklimsel ve kültürel uygulamaların karmaşık etkileşimleri sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bunlardan;

3. 1. Meyve Çatlamaları

Meyve çatlaması, narda olgunlaşma döneminde sıklıkla karşılaşılan, meyve kabuğunun içsel gelişme ve turgor basıncına karşı direnç gösteremeyerek aniden yırtılması şeklinde tanımlanan mekanik bir bozukluktur. Olgunluk ilerledikçe çatlama oranı artmakta; bu durum ticari verimde büyük kayıplara yol açabilmektedir. Meyve çatlamasının oluşumunda çeşidin kabuk kalınlığı ve esneklik potansiyelini oluşturan genetik faktörler, olgunlaşma periyodundaki aşırı veya düzensiz sulamaların yarattığı ani turgor artışından kaynaklı sulama rejimi düzensizlikleri iklimsel strese bağlı etkenler besleme dengesizlikleri, mekanik ve biyotik hasarlar ve hasadın zamanında yapılmayıp geciktirilmesi sayılabilmektedir [45].

3. 2. Güneş Yanıklığı

Meyve yüzey sıcaklığının aşmasıyla birlikte özellikle olgunlaşma evresinde, aşırı ışıklanmaya maruz kalan koyu renkli çeşitlerin güneşe bakan yüzeylerinde siyah renk değişimi görülmektedir. Zamanla bu dokuların esnekliğini kaybetmesi neticesinde yanık bölgeler üzerinde mikro ve makro çatlaklar meydana gelmektedir [46].

3. 3. Kabukta Fiziksel Zararlanmalar

Meyve yüzeyinde meydana gelen fiziksel tahribatlar; rüzgâr etkisiyle dalların temas etmesi, tarımsal ekipmanların kullanımı esnasında oluşan temas ve darbeler, dolu yağışı ya da diken saplanması gibi çeşitli dış etkenlerden kaynaklanmaktadır. Vejetatif ve generatif gelişme dönemi boyunca gerçekleşen dolu yağışları; yaprak, sürgün ve gövde gibi tüm organlarda

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

mekanik yaralanmalara neden olur. Dış kabuğun doğrudan zarar görmesi nedeniyle en yüksek ekonomik zarar meyvelerde gözlenmektedir [45,47].

3. 4. Yosun Oluşumu

Yosun gelişimi, doğrudan bir meyve fizyolojisi bozukluğu olmamakla birlikte; besin maddelerince fakir, ağır bünyeli topraklarda ve havalanmanın yetersiz olduğu bakımsız bahçelerde ortaya çıkar. Yüksek dikim sıklığı veya fazla gövde oluşumu nedeniyle taç içerisindeki gölgelemenin ve nispi nemin artması yosunlaşmayı teşvik eder [48].

4. SONUÇ

Nar; yüksek pazar değeri, zengin besin içeriği ve sağlığı destekleyici özellikleri sayesinde küresel ölçekte giderek artan bir üretim alanına ulaşmış bir üründür. Patojenik fungusların yol açtığı enfeksiyonlar, esas olarak saha koşullarında çiçeklenme evresinde başlamakta veya hasat/taşıma süreçlerindeki fiziksel yaralanmalar vasıtasıyla dokuya nüfuz etmektedir. Tedarik zincirinin her aşamasında devam edebilen bu durum, hasat sonrasında ağır rekolte ve ticari kayıpların yaşanmasına zemin hazırlamaktadır. Söz konusu biyotik ve fizyolojik kayıpların önüne geçilebilmesi için mücadele yöntemlerinin entegrasyonu oldukça önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Bagal SN, Patil MS, Thite SV, Chandanshive AA, Pise NM. Survey of diseases and pests on pomegranate from Solapur district. J Pharm Sci Res. 2022;14:818-824.

[2] Marathe RA, Mallikarjun MH, Manjunatha N, Rao BV. High-tech Pomegranate Production Practices for Export Quality Pomegranate Production and value addition. National Institute of Agricultural Extension Management; 2022.

[3] Bose TK. Tropical and sub-tropical fruit crops of India. Naya Prakash Pvt. Ltd., Calcutta, India; 1985:537-543.

[4] Caleb OJ, Opara UL, Witthuhn CR. Modified atmosphere packaging of pomegranate fruit and arils: a review. Food Bioprocess Technol. 2012;5(1):15-30.

[5] Tziros GT, Tzavella-Klonari K. Pomegranate fruit rot caused by *Coniella granati* confirmed in Greece. Plant Pathol. 2008;57:783.

[6] Mondal KK, Rajendran TP, Phaneendra C, Mani C, Sharma J, Shukla R, Verma G, Pooja, Kumar R, Singh D, Kumar A, Saxena AK, Jain RK. The reliable and rapid polymerase chain reaction (PCR) diagnosis for *Xanthomonas axonopodis* pv. *punicae* in pomegranate. Afr J Microbiol Res. 2012;6:5950–5956.

[7] Michailides TJ, Puckett R, Morgan D. Pomegranate decay caused by Pilidiella granati in California. Phytopathology. 2010;100:S83.

[8] Thomidis T. Fruit rots of pomegranate (cv. wonderful) in Greece. Plant Pathol. 2014;43:583–588.

[9] Ammar MI, El-Naggar MA. Screening and characterization of fungi and their associated mycotoxins in some fruit crops. Int J Adv Res. 2014;2:1216–1227.

[10] Palou L, Taberner V, Guardado A, Del Río MÁ, Montesinos-Herrero C. Incidence and etiology of postharvest fungal diseases of pomegranate (*Punica granatum* cv: mollar de Elche) in Spain. Phytopathol Mediterr. 2013;52:478–489.

[11] Murthy DS, Gajanana TM, Sudha M, Dakshinamoorthy V. Marketing and postharvest losses of fruits: its implication on availability and economy. Indian J Agric Ecol. 2009;64:259–275.

[12] Sudharshan GM, Nadu T. Marketing and post-harvest losses in fruits: its implications on availability and economy − A study on pomegranate in Karnataka. Int J Manag Soc Sci Res. 2013;2:34–43.

[13] Northover J, Zhou T. Disease control of rhizopus rot of peaches with postharvest treatments of tebuconazole, fludioxonil, and Pseudomonas syringae. Can J Plant Pathol. 2002;24:144–153.

[14] Palou L, Del Río MA. Assessment of fungal pathogens causing postharvest decay of pomegranate in Southeast Spain. Acta Hortic. 2009;818:305–312.

[15] Hess-Pierce B, Kader AA. Responses of Wonderful pomegranates to controlled atmospheres. Acta Hortic. 2003;600:751–757.

[16] Petersen Y, Mansvelt EL, Venter E, Langenhoven WE. Detection of *Xanthomonas axonopodis* pv: *punicae* causing bacterial blight on pomegranate in South Africa. Plant Pathol. 2010;39:544–546.

[17] Kerch G. Chitosan films and coatings prevent losses of fresh fruit nutritional quality. Rev Trends Food Sci Technol. 2015;46:159–166.

[18] Ezra D, Gat T, Skovorodnikova Y, Vardi Y, Kosto I. First report of Alternaria black spot of pomegranate caused by *Alternaria alternata* in Israel. Plant Dis Notes. 2010;5:1–2.

[19] Berbegal M, Lopez-Cortes I, Salazar D, Gramaje D, Perez-Sierra A, Garcia-Jimenez J, Armengol J. First report of Alternaria black spot of pomegranate caused by *Alternaria alternata* in Israel. Plant Dis. 2014;5:689.

[20] Gat T, Liarzi O, Skovorodnikova Y, Ezra D. Characterization of Alternaria alternata causing black spot disease of pomegranate in Israel using a molecular marker. Am Phytopathol Soc. 2012;96:1.

[21] Mincuzzi A, Ippolito A. Pomegranate: Postharvest fungal diseases and control. 2023.

[22] Zhang L, McCarthy MJ. Black heart rot detection in pomegranate using magnetic resonance imaging. Postharvest Biol Technol. 2012.

[23] Yehia HM. Heart rot caused by Aspergillus niger through splitting in leathery skin of pomegranate fruit. Afr J Microbiol Res. 2013;7:834–837.

[24] Ahmed M, Shandalya K, Khajuria A, Verma S. First Report of Fruit Borer and Fungal Pathogens Affecting Wild Pomegranate (*Punica granatum* L.) Fruit in Different Agroclimatic Zones of Jammu Division, India. Appl Fruit Sci. 2025;67(4):298.

[25] CABI/EPPO. Coniella granati [invasive species compendium]. Data Sheet Report for Coniella granati (Leaf Blotch: Pomegranate); 2016.

[26] Pala H, Tatli A, Yilmaz C, Özgüven AI. Important diseases of pomegranate fruit and control possibilities in Turkey. Acta Hortic. 2009;818:285–290.

[27] Levy E, Elkind G, Ben-Arie R. First report of Coniella granati causing pomegranate fruit rot in Israel. Phytoparasitica. 2011;39(4):403.

[28] Labuda R, Hudec K, Piecková E, Mezey J, Bohovic R, Mátéová S, Lukác SS. *Penicillium implicatum* causes a destructive rot of pomegranate fruits. Mycopathologia. 2004;157:217–223.

[29] Hammerschmidt L, Wray V, Lin W, Kamilova E, Proksch P, Aly AH. New styrylpyrones from the fungal endophyte *Penicillium glabrum* isolated from *Punica granatum*. Phytochem Lett. 2012;5:600–603.

[30] Khokhar I, Bajwa R, Nasim G. New report of *Penicillium implicatum* causing a postharvest rot of pomegranate fruit in Pakistan. Aust Plant Pathol. 2013;8:39–41.

[31] Özgüven AI, Yilmaz C, Keles D. Pomegranate biodiversity and horticultural management. Acta Hortic. 2012;940:21–28.

[32] Holland D, Hatib K, Bar-Ya'akov I. Pomegranate botany, horticulture, breeding. Hortic Rev Am Soc Hortic Sci. 2009;35:127–192.

[33] Day KR, Wilkins ED. Commercial pomegranate (*Punica granatum* L) production in california. Acta Hortic. 2011;890:275–286.

[34] Badawy MEI, Rabea EI. Potential antimicrobial activity of chitosan and its derivatives against plant pathogens. Bioorg Med Chem. 2009.

[35] Mincuzzi A, et al. Postharvest decay of pomegranate. 2022.

[36] Somasekhara YM. New Record of *Ceratocystis fimbriata* causing wilt of pomegranate in India. Dis Notes. 1999;83:2013.

[37] Benagi VI, Kumar MRR, Gowdar SB, Pawar BB. Survey on diseases of pomegranate in Northern Karnataka, India. Acta Hortic. 2011;890:509–512.

[38] Jadhav VT, Sharma KK. Integrated management of diseases in pomegranate. Acta Hortic. 2011;890:467–474.

[39] Sharma KK, Sharma J, Jadhav VT. Etiology of pomegranate wilt and its management. Fruit Veg Cereal Sci Biotechnol. 2010;4:96–101.

[40] Doddaraju P, Kumar P, Dashyal MS, Girigowda M. Identification of suitable reference genes for expression studies in pomegranate under different biotic and abiotic stress conditions. Mol Biol Rep. 2021;48(5):3935-3943.

[41] Mohamed RA, Al-Bedak OA, Hassan SH. First record in Upper Egypt of vascular wilt on pomegranate caused by *Fusarium oxysporum*, its molecular identification and artificial pathogenicity. J Plant Dis Prot. 2021;128(1):311-316.

[42] Xu B, Zheng HX, Guo WX, Zhou PX, He P. First report of pomegranate wilt caused by *Ceratocystis fimbriata* in Sichuan Province. Plant Dis. 2011;95:4–5.

[43] Yenjerappa S, Nargund V, Byadagi A, Ravikumar M, Mokashi A, Basavangoud K. Biological management of bacterial blight of pomegranate caused by *Xanthomonas axanopodis* pv. *punicae*. Karnataka J Agrisci. 2013;26:561–562.

[44] Yılmaz C, Özgüven AI. Narda (Punica granatum L.) meyve çatlaması. Hasat Yayıncılık; 2012.

[45] Shulman S, Fainberstein L, Lavee S. Pomegranate Fruit Development and Maturation. J Hortic Sci. 1984;59(2):265-282.

[46] Voisey PW, Lyall LH. Methods of Determining the Strength of Tomato Skins in Relation to Fruit Cracking. Proc Amer Soc Hort Sci. 1965;86:597-609.

[47] Öztürk N, Yılmaz A, Karacaoğlu M, Özarslan A, Caner ÖK, Öztop A, Canihoş E. Nar Entegre Mücadele Teknik Talimatı. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Bitki Sağlığı Araştırmaları Daire Başkanlığı, Ankara; 2017.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

NAR (*Punica granatum* L.) HASTALIKLARI MÜCADELESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİM STRATEJİLERİ

Doç. Dr. Meltem AVAN
Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü,
meltemavan@adiyaman.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-2939-8177

ÖZET

Nar (*Punica granatum* L.) üretiminde ve hasat sonrası süreçlerde fungal ve bakteriyel patojenlerle mücadele etmek amacıyla tarlada ve depolama aşamalarında geleneksel olarak fungisit uygulamalarından yararlanılmaktadır. Ancak günümüzde çevre ve insan sağlığına dair endişelerin artması, kimyasal fungisit kullanımına getirilen kısıtlamalar ve düşük girdili tarıma olan talebin yükselmesi, çevre dostu ve uygun maliyetli yönetim stratejilerine yönelik küresel eğilimi güçlendirmiştir. Bu doğrultuda nar hastalığı mücadelesinde öne çıkan güncel stratejiler ve biyolojik mücadele yaklaşımları; kimyasal kullanımını azaltmak amacıyla çeşitli biyolojik kontrol ajanları, bakteriyofajlar, bitkisel ekstraktlar ile bitki gelişimini teşvik eden ve direnci uyaran maddeler kullanılarak tarladaki yerel enfeksiyonları kontrol altına almayı hedeflemektedir. Bunların yanı sıra depolama ve işleme süreçlerinde yeni enfeksiyonların oluşmasını önlemeye yönelik entegre kontrol stratejilerinin önemi de değerlendirilmektedir. Bu bildiri, nar hastalıklarının kontrolü ve sürdürülebilir yönetimine dair son gelişmeleri ele alarak nar yetişiriciliği için bir rehber niteliğinde bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Nar, hastalık yönetimi, biyolojik mücadele, kimyasal mücadele, sürdürülebilir tarım

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

1. NARLARDA HASTALIK MÜCADELESİNDE HASAT ÖNCESİ UYGULAMALAR

Patojenler meyve bahçelerine bir kez yerleştiğinde, onları tamamen ortadan kaldırmak oldukça güçtür. Bu sebeple uygulanan mücadele stratejileri genellikle koruyucu önlemlere dayanmakta ve enfeksiyon tehdidini sınırlandırmayı amaçlamaktadır [1]. Bu durum, gerek toplanma aşamasında gerekse muhafaza sürecinde fungal kökenli hastalıkların erken safhada belirlenmesini zorunlu kılar. Çünkü erken teşhis; hastalık tahmin mekanizmalarının kurulması, mücadele adımlarının doğru zamanlanması ve başarı oranının yükseltilmesi bakımından kritik bir rol oynamaktadır. Depolama döneminde beliren çürümelerin büyük kısmı henüz bahçe aşamasında şekillendiği için koruyucu adımların da saha koşullarında devreye sokulması gerekmektedir.

1. 1. Kültürel Mücadele

Kültürel önlemler; yetiştiricilik ortamını optimize ederek hastalık inokulumunun miktarını düşürmeyi hedefleyen sentetik ilaç dışı mücadele yöntemleridir [2]. Nar üretiminde arazi planlamasının doğru yapılması ve karık/sırt sistemiyle toprak süzülmesinin artırılması, plantasyondaki hava dolaşımını ve su tahliyesini desteklemesi bakımından önem taşımaktadır. Bahçe kurulumu, besleme ve sulama rejimi gibi tarımsal süreçlerde yapılan hatalar bitkide strese yol açarak hastalık direncinin kırılmasına neden olmaktadır [3]. Bu doğrultuda, meyve çatlamalarını tetikleyen aşırı sulama gibi su streslerinden kaçınılmalıdır. Saha yönetiminde; enfeksiyon kaynağı olabilecek kurumuş dal ile kalıntı meyvelerin ortamdan uzaklaştırılması ve bahçe çalışanlarının hem patojen belirtileri hem de budama yaralarının korunması hususunda bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Budama kesiklerinin patojen girişine karşı korunmasında koruyucu macun kullanımı etkili bir seçenektir [2,3] (Görsel1).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3



Görsel 1. Narlarda hasat öncesi kültürel mücadele metodları özet şeması

Ağaç üzerindeki meyvelerin torbalanması, zararlı böcek ve kuşlara karşı fiziksel engel oluştursa da finansal açıdan her zaman ekonomik bulunmayabilir [2]. Ayrıca, belirgin semptom göstermeyen ancak enfekte olan meyveler, ağaçların hafifçe sarsılması suretiyle toplanıp hasat öncesinde alandan uzaklaştırılmalıdır. Son olarak, meyvede doku bütünlüğünün bozulmasını ve sekonder enfeksiyonları engellemek adına zararlı böceklerle mücadele edilmesi kritik bir adımdır.

1.2. Kimyasal Mücadele

Bitki hastalıklarıyla mücadelede en yüksek başarı, çok eskilerden beri kimyasal yöntemlerle elde edilmektedir. Örneğin, nar yetiştiriciliğinde karşılaşılan sürgün yanıklığı ile meyve çürümelerinin önüne geçilmesinde tebuconazole ve thiophanate-methyl içerikli fungisitler önemli bir rol oynamaktadır [4]. Yine, nar meyvelerinde görülen leke ve çürüklük sorunlarına karşı beş ayrı fungisit carbendazim, mancozeb, bakır oksiklorür, companion (*Bacillus subtilis* içeren preparat) ve captan test edilmiştir. Captan, companion ve bakır oksiklorür maddelerinin hastalık seviyesini belirgin ölçüde düşürdüğünü ortaya koymuştur. Ancak bakır oksiklorür kullanımının meyve kabuğunda leke şeklinde ilaç artıkları bıraktığı, bu

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

durumun da ürünün ticari değerini olumsuz etkilediği saptanmıştır [5]. Sentetik kimyasalların bu tür taze tüketilen ürünlerde sağlık riski oluşturan kalıntılar bırakabilmesi en büyük dezavantajlarından biridir. Bunun yanı sıra, zamanla direnç kazanan fungisite dayanıklı patojen ırklarının ortaya çıkması, bu kimyasal mücadele yöntemlerinin zamanla verimini kaybetmesine neden olabilmektedir [1] (Görsel 2).



Görsel 2. Narlarda sentetik kimyasal mücadele için alternatif yaklaşımların şematik açıklaması

1. 3. Biyoajanlar ve Biyopestisitler

Patojenlerin mikroorganizmalar yardımıyla kontrol altına alınması esasına dayanan biyolojik mücadele, sürdürülebilir tarım stratejilerinde geniş kabul görmektedir [6]. Sert iklim şartlarında yürütülen araştırmalarla, biyogübre içeren entegre besleme programlarının narda bitki gelişimi, verimi, metabolizma ve rizosferdeki enzim faaliyetleri üzerinde olumlu etkilerini ortaya koyulmuştur. Bu süreçte özellikle azot bağlayıcı bakteriler ile arbusküler mikorizal fungusların birlikte uygulanması en başarılı gelişme stratejisi olarak belirlenmiştir [7]. Yumuşak çekirdekli meyvelerde çürüme süreçlerinin geciktirilmesinde *Bacillus subtilis* subsp. *spizizenii* (Avogreen) ve *Cryptococcus albidus* (Saito) C.E. Skinner (YieldPlus) gibi bazı faydalı mikroorganizmalardan yararlanılabileceği çalışmalarla doğrulanmıştır [8]. Doğal floradan elde edilen 40 farklı aktinomiset izolatının narın bakteriyel leke etmeni *Xanthomonas axonopodis* pv. *punicae* engelleme olanakları incelenmiş ve yapılan inokülasyonlarda, test edilen 36 adet *Xanthomonas* ırkının çoğalmasını, bir askomiset izolatı etkili bir biçimde engelleyerek potansiyel bir biyokontrol ajanı niteliği taşıdığı gözlemlenmiştir [6]. *Trichoderma* türleri bu korumayı; antibiyotik sentezi, mikoparazitizm, alan ve besin rekabeti ile konukçunun

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

savunma sistemini uyarma gibi mekanizmalar aracılığıyla elde edildiği preparatları narda bakteriyel yanıklık ve antraknoz hastalıklarına karşı koruyucu bir işlev üstlendiği tespit edilmiştir [9]. Doğal bitki florasında bulunan yararlı mikroorganizmalardan veya bunlardan elde edilen özlerden üretilen biyopestisitler, modern ve yenilikçi bitki koruma ürünleridir. Bu biyolojik ajanlar, bir yandan antibiyotik ve uçucu bileşik üretimi ile siderofor ve fitoaleksin salgılanmasını sağlarken, diğer yandan ortamdaki yer-besin rekabeti, hücre dışı matris oluşumu ve patojenle direkt temas gibi çok yönlü mekanizmalarla bitki bünyesindeki direnci artırırlar [10] (Görsel 3).



Görsel 3. Narlarda hasat öncesi biyokontrol uygulamaları özet şeması

Konvansiyonel kimyasalların sunduğu mücadele seviyesine ulaşabilmek adına mikrobiyal antagonistlerin; sentetik pestisitler [11], sıcak su uygulamaları [12], doğal bitkisel özütler [13], klorür tuzları [14], karbonat tuzları [15]ve çeşitli fiziksel yöntemlerle [16] entegre edilerek uygulanması önerilmektedir (Görsel 4).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ENTEGRE BİYOLOJİK MÜCADELE KOMBİNASYONLARI

Mikrobiyal antagonistlerin konvansiyonel kimyasalların sunduğu mücadele seviyesine ulaşabilmesi için tek başına değil, yardımcı fiziksel ve kimyasal yöntemlerle entegre edilerek uygulanması önerilmektedir:

UYGULAMA YÖNTEMİ	ENTEGRE EDİLEN AJAN / FAKTÖR	MEKANİZMA VE KATKISI
Sentetik Pestisitler	Düşük Doz Kimyasal	Direnç gelişimini önler, mikrobiyal yükü azaltarak antagonistlerin etkinliğini artırır.
Sıcak Su Uygulamaları	Fiziksel Termal	Meyve yüzeyindeki spor çimlenmesini durdurur, biyoajanların kolonizasyonunu kolaylaştırır.
Doğal Bitkisel Özütler	Uçucu Yağlar / Ekstreler	Patojen hücre zarını bozar, antagonist mikroorganizmalarla sinerjik etki yaratır.
Klorür Tuzları	Mineral Tuzlar	Patojen enzim aktivitesini doğrudan baskılar ve meyve doku sertliğini korur.
Karbonat Tuzları	pH Düzenleyici	Meyve kabuk pH'sını değiştirerek fungal patojen osmozunu bozar ve çürümeyi önler.
Fiziksel Yöntemler	UV / Yüzey İşlemleri	Meyve kabuğundaki fitoaleksin sentezini (doğal bitki savunması) uyarır.

Görsel 4. Narlarda hasat öncesi entegre mücadele kombinasyon yöntemleri özet şeması

2. NARLARDA HASTALIK MÜCADELESİNDE HASAT SONRASI UYGULAMALAR

2. 1. Meyve Ayıklama ve Sınıflandırma

Hasat edilen meyvelerin kabuk dokusunda sıyrık, ezik veya delinme gibi fiziksel hasarların oluşmaması için süreç hassasiyetle yürütülmeli, enfekteli ürünlerin ambalaja girmesini engellemek amacıyla narlar; renk değişimleri ve çatlamalar başta olmak üzere her türlü kalite yönünden titizlikle ayıklanıp derecelendirilmesi gerekmektedir [17]. Özellikle de *B. cinerea* gibi etmenlerin sağlıklı dokulara bulaşarak sekonder enfeksiyon oluşturmalarını engellemek için hastalıklı meyvelerin sağlam olanlardan ayrılması gerekmektedir [18].

2. 2. Uygun Depolama

Pek çok nar çeşidi için ideal muhafaza sıcaklığı iki aya kadar olan sürelerde %90–95 nem oranında 5 °C, iki ayı aşan depolamalarda ise 7 °C [19] iken %80–90 bağıl nem ortamında 5–10 °C aralığında 2 ila 3 ay süreyle soğukta saklanabilmektedir [20]. Hasat tamamlandıktan sonra meyvelerde lezzet, renk ve tekstür değişimlerine yol açarak besinsel değerin azalmasına neden olan bir dizi biyokimyasal ve fizyolojik tepkime meydana gelmektedir. Düşük neme maruz kalan narlar kabuk bozulmalarına karşı oldukça duyarlıdır. Bu nedenle uygun koşullarda yürütülen depolama işlemleri, narlarda çürüme oranının düşürülmesinde etkilidir. Sıcaklığın 5 °C'nin üzerine çıkması fungal patojenlerin çoğalmasını hızlandırırken, bu eşiğin altındaki değerler ise meyvede üşüme, kabuk haşlanmasına ve takiben çürümelerin artmasına yol açmaktadır [21].

2. 3. Isıl İşlem Uygulaması

Narlarda kalite kaybını azaltmak, depolama süresini uzatmak ve üşüme zararları ile enfeksiyonları önlemek amacıyla 50–60 °C sıcaklıkta ıslak veya kuru kürleme ile sıcak su

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

uygulamaları yapılmaktadır [17,22]. Bu fiziksel yöntemler, sentetik pestisit içermeyen sürdürülebilir birer alternatiftir [23]. Isıl işlem uygulamaları, meyvedeki poliamin sentezini uyararak hücre zarı bütünlüğünü korur, doku yumuşamasını, soğuk hasarını baskılayarak [24], hücresel olarak ve besin değerlerinin korumasını sağlamaktadır [20].

2. 4. Organik Asit Uygulaması

Taze gıdalarda dokusal bozulmaları, mikrobiyal faaliyeti ve her türlü kararmayı geciktirmek maksadıyla organik asit kullanımına başvurulmaktadır [25]. Fiziki ve kimyasal tekniklerin birlikte yürütülmesi ile ürün kalitesini belirgin şekilde yükseltmektedir. Bu kapsamda oluşturulan entegre ön muameleler; kalsiyum propiyonat ve potasyum sorbat gibi bileşenlerin ısıl uygulamalar veya ultraviyole C ışınımı kombinasyonunu içerebilmektedir. Gama radyasyonunun ise bilhassa gıda kaynaklı kontaminasyonların önlenmesinde pratik bir çözüm olduğu kanıtlanmıştır. Sahip oldukları geniş etki yelpazesi sayesinde bu yöntemlerin eş zamanlı uygulanması, tekli kullanımlara kıyasla kalite parametrelerini çok daha ileri bir seviyeye taşımaktadır. Meyvelerden maksimum verim elde edilebilmesi adına, uygulanacak hasat sonrası işlemlerin yanında nitelikli ürün yönetimi stratejilerine de gereken ağırlık verilmelidir [17]. Sodyum ve potasyum bikarbonatın tuz çözeltileri, yaprak patojenlerine karşı fungisidal etki göstermektedir [1].

2. 5. Gama Işınlaması

Asidik ortama dirençli bakteriler başta olmak üzere küf ve maya gibi fungal etmenler, taze işlenmiş gıdalarda hızla bozulmaya yol açabilmektedir. Bu noktada gama ışınlaması uygulamaları, dayanıklılığı ve raf ömrü artırılmış meyve sularının elde edilmesinde etkili bir seçenek sunmaktadır [26].

2. 6. Değiştirilmiş Gaz Atmosferinde Paketleme

Değiştirilmiş Gaz Atmosferinde Paketleme teknolojisi, ideal düşük sıcaklık koşullarıyla birleştirildiğinde meyve ve sebzelerin tazeliğini korumada son derece etkili bir yöntemdir. Bu yaklaşım, canlılığını ve solunumunu sürdüren ürünün hava geçirmez bir polimerik ambalaj içerisine mühürlenmesi esasına dayanır. Paket içerisindeki gaz dengesi, ürünün respirasyon hızı ile ambalaj filminin geçirgenliği arasındaki etkileşime bağlı olarak kendiliğinden şekillenmektedir [27]. Oluşan bu uygun ortam, biyokimyasal ve fizyolojik tepkimeleri yavaşlatmak suretiyle hücresel yaşlanmayı geciktirmektedir. Sonuçta beklenen verim, ürünün solunum hareketleri ile ambalaj materyalinin gaz geçirgenliğinin doğru hassasiyetle eşleştirilmesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir [19,27]. İstenen gaz bileşimlerinin ambalaj içerisine doğrudan enjekte edilmesi esasına dayanan aktif bu uygulamalar ile, dengeli gaz ortamının daha serice kurulmasını sağlamaktadır [27]. Öte yandan aktif ambalajlama sistemleri; ortamdaki etilen, oksijen, koku, sıvı ve nem gibi istenmeyen bileşenleri bünyesine hapsedip uzaklaştırarak ya da ortama antimikrobiyal maddeler vererek gıdaların raf ömrünü uzatır. Akıllı ambalajlama teknolojileri ise ürünün veya paket içi ortamın durumunu anlık takip ederek, lojistik ve muhafaza evrelerindeki koşullara dair bilgi akışı sağlamaktadır [28].

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

2. 7. Kimyasal Uygulamalar

Taze meyve ve sebzelerin muhafaza edilmeden önce yıkanması, yüzeydeki yabancı maddelerin ve patojen organizmaların arındırılması amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir. Buna karşın, depolama öncesinde yapılan sulu işlemler, susuz yürütülen süreçlerle kıyaslandığında nem artışına bağlı olarak mikrobiyal çoğalmaya daha elverişli bir zemin hazırlayabilmektedir [29]. Klor içeren çözeltilerle gerçekleştirilen yıkamalar, özellikle *Penicillium* türlerinin yol açtığı çürümeler ile gri küf enfeksiyonu riskini azaltmada oldukça etkili olmaktadır. Genellikle bu klorlu yıkama adımlarına, fludioxonil ve fenhexamid etken maddeli hasat sonrası fungisit daldırmaları entegre edilmektedir [30]. Narlarda uygulanan fenhexamid ve fludioxonil işlemleri, bilhassa taç kısmında gri küfün doğal yaygınlığını belirgin ölçüde baskılamaktadır [31,32]. Söz konusu fungisitler; daldırma, püskürtme, fumigant formda kullanılabileceği gibi kimyasalla muamele edilmiş sarma kağıtları veya kutu içi kaplamaları vasıtasıyla da meyveye aktarılabilmektedir. Öte yandan, ürünün ticari görünümünü ve kalitesini yükseltmek amacıyla koruyucu kaplama ile mumlama tekniklerine başvurulmaktadır. Hem oda sıcaklığındaki hem de soğuk hava depolarındaki muhafaza süreçlerinde hastalık gelişimini azaltmak ve narın raf ömrünü uzatmak maksadıyla fungisit maddeler doğrudan meyve mumlarının içerisine de dâhil edilebilmektedir [33].

3. SONUÇ

Narlar, muhafaza ve pazarlama süreçlerinde kayıplara yol açan çok sayıda çürüklük patojenine karşı oldukça hassastır. Narın depolama ömrünü uzatmak ve pazara kesintisiz ürün sunabilmek için fizyolojik kökenli bozukluklar ile hastalık etmenlerinin doğru tespiti gerekmektedir. Bu çerçevede hem tarladan taşınan latent enfeksiyonların hem de mekanik yaralanmalar sonucu beliren hasat sonrası patojenlerin detaylıca incelenmesi zorunludur. Elde edilen veriler, nar hastalıklarının epidemiyolojik süreçlerini anlamaya yönelik daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu ve hasat öncesi/sonrası tüm adımlarda uygulanacak sıkı sanitasyon kurallarının meyve çürümelerini önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir. Nar hastalıklarıyla mücadelede öteden beri sentetik fungisit ve pestisit kullanımı hâkimdir; ancak güncel araştırmalar kimyasal içermeyen alternatif yöntemlere odaklanmaktadır. Isıl muameleler, biyolojik kontrol, organik asitler ve yenilebilir kaplama sistemleri gibi kimyasal dışı uygulamalar; taze ürünlerde raf ömrünü uzatma, soğuk stresine dayanıklılığı artırma, patojen gelişimini kısıtlama ve ürünün besin değerini koruma gibi çok yönlü avantajlar sunmaktadır. Buna karşın, tek başına uygulanan kimyasal dışı stratejiler sahada değişken bir etkinlik sergileyebildiğinden, konvansiyonel pestisitlerle benzer başarıyı yakalamak adına zaman zaman sentetik fungisitlerle desteklenmeleri gerekebilmektedir. Dolayısıyla biyopestisitler ile ileri ambalajlama teknolojilerini bir araya getiren özgün entegre yönetim modellerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bunlara ek olarak, tüketicilerin gıda güvenliği kaygılarına yanıt veren doğal antimikrobiyal kaynakların hastalıkları baskılama potansiyellerinden yararlanılması hedeflenmelidir. Antagonist mikroorganizmaların genetik mühendislik yöntemleriyle geliştirilmesi ve dirençli çeşit ıslah çalışmalarına entegre edilmesi, gelecekteki bütüncül ve sürdürülebilir hasat sonrası hastalık yönetiminin temelini oluşturacaktır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

KAYNAKÇA

[1] Palou L, Crisosto CH, Garner D. Combination of postharvest antifungal chemical treatments and controlled atmosphere storage to control gray mold and improve storability of Wonderful pomegranates. Postharvest Biol Technol. 2007;43:133–142.

[2] Jadhav VT, Sharma KK. Integrated management of diseases in pomegranate. Acta Hortic. 2011;890:467–474.

[3] Wohlfarter M, Giliomee JH, Venter E. A survey of the arthropod pests associated with commercial pomegranates, *Punica granatum* (Lythraceae), in South Africa. Afr Entomol. 2010;18:192–199.

[4] Thomidis T. Pathogenicity and characterization of *Pilidiella granati* causing pomegranate diseases in Greece. Eur J Plant Pathol. 2015;141(1):45–50.

[5] Khosla K, Bhardwa SS, Kumar J. Field evaluation of fungicides against fruit spot and rot diseases of pomegranate. Haryana J Hortic Sci. 2008;37:22–24.

[6] Chavan NP, Pandey R, Nawani N, Nanda RK, Tandon GD, Khetmalas MB. Biocontrol potential of actinomycetes against *Xanthomonas axonopodis* pv. *punicae*: a causative agent for oily spot disease of pomegranate. Biocontrol Sci Technol. 2016;26:351–372.

[7] Aseri GK, Jain N, Panwar J, Rao AV, Meghwal PR. Biofertilizers improve plant growth fruit yield, nutrition, metabolism and rhizosphere enzyme activities of Pomegranate (*Punica granatum* L.) in Indian Thar Desert. Sci Hortic. 2008;117:130–135.

[8] Janisiewicz WJ, Korsten L. Biological control of postharvest diseases of fruits. Annu Rev Phytopathol. 2002;40:411–441.

[9] Sataraddi AR, Prashanth A, Prabhu HV, Jamadar MM, Aski S. Role of bio-agents and botanicals in the management of anthracnose of pomegranate. Acta Hortic. 2011;890:539–544.

[10] Yenjerappa S, Nargund V, Byadagi A, Ravikumar M, Mokashi A, Basavangoud K. Biological management of bacterial blight of pomegranate caused by *Xanthomonas axanopodis* pv. *punicae*. Karnataka J Agrisci. 2013;26:561–562.

[11] Mutawila C, Halleen F, Mostert L. Development of benzimidazole resistant Trichoderma strains for the integration of chemical and biocontrol methods of grapevine pruning wound protection. BioControl. 2015;60:387–399.

[12] Capozzi V, Fiocco D, Amodio ML, Gallone A, Spano G. Bacterial stressors in minimally processed food. Int J Mol Sci. 2009;10:3076–3105.

[13] Sukorini H, Sangchote S, Khewkhom N. Control of postharvest green mold of citrus fruit with yeasts, medicinal plants, and their combination. Postharvest Biol Technol. 2013;79:24–31.

[14] Siddiqui MW, Chakraborty I, Ayala-Zavala JF, Dhua RS. Advances in minimal processing of fruits and vegetables: a review. J Sci Ind Res. 2011;70:823–834.

[15] Sivakumar D, Hewarathgamagae NK, Wilson Wijeratnam RS, Wijesundera RLC. Effect of ammonium carbonate and sodium bicarbonate on anthracnose of papaya. Phytoparasitica. 2002;30:486–492.

[16] Artés F, Tudela JA, Villaescusa R. Thermal postharvest treatments for improving pomegranate quality and shelf life. Postharvest Biol Technol. 2000;18:245–251.

[17] Opara UL, Atukuri J, Fawole OA. Application of physical and chemical postharvest treatments to enhance storage and shelf life of pomegranate fruit-a review. Sci Hortic. 2015;197:41–49.

[18] Elmer PAG, Michailides TJ. Botrytis gray mold of kiwifruit caused by *Botrytis cinerea* in the United States and New Zealand. Plant Dis. 2000;84:208–223.

[19] Caleb OJ, Opara UL, Witthuhn CR. Modified atmosphere packaging of pomegranate fruit and arils: a review. Food Bioprocess Technol. 2012;5:15–30.

[20] Pareek S, Valero D, Serrano M. Postharvest biology and technology of pomegranate. J Sci Food Agric. 2015;95:2360–2379.

[21] Arendse E, Fawole OA, Opara UL. Effects of postharvest handling and storage on physiological attributes and quality of pomegranate fruit (*Punica granatum* L.). Int J Postharvest Technol Innov. 2015;5:13–31.

[22] Mirdehghan SH, Rahemi M, Serrano M, Guillén F, Martínez-Romero D, Valero D. Prestorage heat treatment to maintain nutritive and functional properties during postharvest cold storage of pomegranate. J Agric Food Chem. 2006;54:8495–8500.

[23] Li X, Zhu X, Zhao N, Fu D, Li J, Chen W, Chen W. Effects of hot water treatment on anthracnose disease in papaya fruit and its possible mechanism. Postharvest Biol Technol. 2013;86:437–446.

[24] Mirdehghan SH, Rahemi M, Martinez-Romero D, Guillen F, Valverde JM, Zapata PJ, Serrano M, Valero D. Reduction of pomegranate chilling injury during storage after heat treatment: role of polyamines. Postharvest Biol Technol. 2007;44:19–25.

[25] Banda K, Caleb OJ, Opara UL. Effect of citric acid and storage conditions on the respiration rate of Wonderful pomegranate arils. Acta Hortic. 2015;1079:481–486.

[26] Alighourchi H, Barzegar M, Abbasi S. Effect of gamma irradiation on the stability of anthocyanins and shelf-life of various pomegranate juices. Food Chem. 2008;110:1036–1040.

[27] Banda K, Caleb OJ, Jacobs K, Opara UL. Effect of active-modified atmosphere packaging on the respiration rate and quality of pomegranate arils (cv. Wonderful). Postharvest Biol Technol. 2015;109:97–105.

[28] Pereira de Abreu DA, Cruz JM, Paseiro Losada P. Active and intelligent packaging for the food industry. Food Rev Int. 2012;28:146–187.

[29] O'Grady L, Sigge GO, Caleb OJ, Opara UL. Effects of water dipping of whole fruit on the microbial quality of minimally processed pomegranate (*Punica granatum* L.) arils during cold storage. Int J Postharvest Technol Innov. 2015;5:1–7.

[30] Förster H, Adaskaveg JE. Early brown rot infections in sweet cherry fruit are detected by monilinia-specific DNA primers. Am Phyotopathol Soc. 2000;90:171–178.

[31] D'Aquino S, Schirra M, Palma A, Angioni A, Cabras P, Gentile A, Tribulato E. Effectiveness of fludioxonil in control storage decay on pomegranate. Acta Hortic. 2009;818:313–318.

[32] Holland D, Hatib K, Bar-Ya'akov I. Pomegranate botany, horticulture, breeding. Hortic Rev Am Soc Hortic Sci. 2009;35:127–192.

[33] Ghatge PU, Kulkarni DN, Rodge AB, Kshirsargar RB. Studies on posth-harvest treatments for increasing storage life of pomegranate. J Soils Crop. 2005;15:319–322.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

KSİLOFAJ BÖCEKLERİN DOĞADAKİ İŞLEVLERİ VE EKOLOJİK ÖNEMİ

Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU

Adıyaman Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü,
mislamoglu@adiyaman.edu.tr- ORCID ID: 0000-0003-2835-4735

1. ÖZET

Ksilofaj böcekler, yaşamlarının en az bir döneminde odun ve odunsu dokularla beslenen ve orman ekosistemlerinde önemli görevler üstlenen böceklerdir. Bu grupta özellikle Coleoptera takımına bağlı Cerambycidae, Buprestidae ve Curculionidae familyalarının birçok türü bulunmaktadır. Bunun yanı sıra termitler, odun arıları ve bazı diğer böcekler de odunla ilişkili yaşam biçimleri nedeniyle ksilofaj olarak değerlendirilmektedir.

Ksilofaj böceklerin ekolojik olarak yalnızca ağaçlara verdikleri zararlarla sınırlı değildir. Özellikle yaşlı, zayıflamış ve ölü ağaçların parçalanmasına katkı sağlayarak odun ayrışmasını hızlandırırlar. Odun içerisinde açtıkları galeriler, mantar ve bakteriler gibi mikroorganizmaların dokuya ulaşmasını kolaylaştırır. Böylece karbon ve besin elementlerinin ekosisteme yeniden kazandırılmasına katkıda bulunurlar. Ayrıca oluşturdukları galeriler, birçok böcek ve diğer omurgasızlar için barınma ve üreme alanı sağlayarak mikrohabitat çeşitliliğini artırırlar. Ksilofaj böcekler aynı zamanda kuşlar, örümcekler ve yırtıcı böcekler için önemli bir besin kaynağını oluştururlar.

Bununla birlikte bazı ksilofaj türleri canlı ve sağlıklı ağaçlara zarar vererek orman, meyve ve kereste üretim alanlarında ekonomik kayıplara neden olabilir. Bu nedenle ksilofaj böceklerin ekosistemdeki yararlı ve zararlı etkilerinin birlikte değerlendirilmesi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir orman yönetimi açısından oldukça önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ksilofaj böcekler, ayrışma, besin döngüsü, orman ekosistemi, biyolojik çeşitlilik

1. GİRİŞ

Orman ekosistemleri, canlı ve cansız unsurların karşılıklı etkileşimi sonucunda işleyen karmaşık sistemlerdir. Ağaçlar ve diğer bitkiler tarafından üretilen organik maddenin ekosistem içerisinde yeniden kullanılabilir besin elementlerine dönüştürülmesi, ekosistemlerin sürekliliği açısından temel süreçlerden biridir. Bu süreçte mantarlar, bakteriler ve omurgasız hayvanlar başta olmak üzere çok sayıda ayrıştırıcı organizma görev almaktadır. Özellikle ölü odunun ayrışması, karbonun ve mineral besinlerin ekosisteme yeniden kazandırılması açısından önemli bir süreçtir. Ksilofaj böcekler de bu sürece katkıda bulunan önemli organizma gruplarından

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

biridir. Odunla ilişkili omurgasızların odunun ayrışmasında tünelleme, parçalama ve diğer biyotik etkileşimler yoluyla rol oynadığı bildirilmektedir [1,2].

"Ksilofaj" kelimesi, Yunanca "xylon" (odun) ve "phagein" (yemek) sözcüklerinden türemiş olup genel olarak "odunla beslenen" anlamına gelmektedir. Bununla birlikte bilimsel açıdan ksilofaj kavramının kapsamı oldukça geniştir. Bazı türler doğrudan ksilem ve diğer odunsu dokularla beslenirken, bazıları kabuk veya kambiyum gibi odunla ilişkili dokuları kullanmaktadır. Bazı gruplar odunun kendisinden ziyade, açtıkları galeriler içerisinde yetiştirdikleri simbiyotik mantarlarla beslenmektedir. Bu nedenle odunla ilişkili böceklerin tamamını aynı beslenme grubunda değerlendirmek doğru değildir. Odun tüketen böceklerin tüketilen dokunun niteliği ve odunun fizyolojik durumu dikkate alınarak daha ayrıntılı gruplara ayrılmasını önermiştir [3].

Ksilofaj böcekler özellikle orman ekosistemlerinde dikkat çekmektedir. Yaşayan ağaçların yanı sıra kurumuş dallar, devrilmiş gövdeler, kütükler ve farklı ayrışma aşamalarındaki ölü odunlar bu canlılar için önemli yaşam alanları oluşturur. Bir ağacın yaşlanması veya ölmesiyle birlikte odunun fiziksel ve kimyasal özellikleri değişmekte, buna bağlı olarak farklı böcek türleri bölgeyi ardışık olarak kolonize etmektedir. Böylece ölü odun üzerinde zamana bağlı bir ekolojik süksesyon meydana gelmektedir [2,4].

Ksilofaj böceklerin doğadaki rolünün yalnızca "zararlı" kavramı üzerinden değerlendirilmesi, bu canlıların ekolojik öneminin gözden kaçırılmasına neden olabilir. Ormanlarda bulunan odunların önemli bir bölümü çeşitli böcekler tarafından parçalanmakta ve bu süreç diğer ayrıştırıcı organizmaların faaliyetlerini kolaylaştırabilmektedir. Böceklerin oluşturduğu galeriler, odunun yapısını değiştirmekte ve mantar ve bakteriler gibi mikroorganizmaların odun dokusuna ulaşmasını kolaylaştırabilmektedir. Bu nedenle ksilofaj böcekler, fiziksel parçalama ile mikrobiyal ayrışma arasında bağlantı kuran organizmalar olarak değerlendirilir [1].

Bu çalışmanın ile, ksilofaj böceklerin temel özelliklerini açıklamak ve bu canlıların doğadaki işlevlerini; odun ayrışması, besin döngüsü, karbon döngüsü, biyolojik çeşitlilik ve besin ağları açısından değerlendirmektir. Ayrıca ksilofaj böceklerin bazı türlerinin orman ve tarım alanlarında oluşturabileceği ekonomik zararlar ile ekosistem hizmetleri arasındaki ilişkinin ortaya konulması amaçlanmıştır [4,5].

2. KSİLOFAJ BÖCEKLERİN TANIMI

Ksilofaj böcekler tek bir taksonomik grup değildir. Farklı böcek takımlarında bağımsız olarak ortaya çıkmış bir beslenme ve yaşam stratejisidir. Özellikle Coleoptera takımı içerisinde bulunan bazı familyalar ksilofaj türler bakımından oldukça zengindir. Cerambycidae, Buprestidae ve Curculionidae içerisinde yer alan Scolytinae grubu, odunla ilişkili önemli böcek grupları arasındadır. Bunların yanında Hymenoptera içerisindeki Siricidae (odun arıları) ve Blattodea içerisinde yer alan termitler de odun kaynaklarını kullanan önemli organizmalardır [1,3,4].

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Ksilofaj böceklerin odunla ilişkileri türden türe farklılık gösterir. Bazı türlerin larvaları canlı ağaçların odun dokularında galeriler açarken, bazı türler yalnızca zayıflamış veya ölü ağaçları tercih eder. Özellikle saprofit böcekler, yaşamlarının bir veya daha fazla aşamasında ölü ya da ölmekte olan oduna bağımlıdır. Bu türlerin oluşturduğu topluluklarda farklı ayrışma aşamalarına uyum sağlamış türlerin birbirini takip ettiği görülür [2,4,5].

Ksilofaj böceklerin odun gibi besin bakımından fakir ve kimyasal olarak karmaşık bir kaynaktan yararlanabilmeleri çeşitli adaptasyonların gelişmesini sağlamıştır. Selüloz ve lignoselülozik yapı bakımından zengin olan odunun sindirimi çoğu hayvan açısından güçtür. Bu noktada bazı odunla beslenen böceklerde bağırsak mikroorganizmaları önem kazanmaktadır [6,7]. Bazı ksilofaj böcekler bakteriler ve mantarlarla simbiyotik ilişkiler kurarak odunsu materyalin kullanımından yararlanabilmektedir. Özellikle termitlerde bağırsak mikroorganizmalarının selüloz ve diğer odun bileşenlerinin parçalanmasındaki rolü ayrıntılı olarak ortaya konmuştur [8,9].

3. KSİLOFAJ BÖCEKLERİN EKOLOJİK ÖNEMİ

Ölü odunun ayrışması, orman ekosistemlerindeki önemli madde döngüsü süreçlerinden biridir. Ölü bir ağacın ayrışması tek aşamalı bir olay değildir. Ağacın ölümünden sonra odunun nem içeriği, kimyasal bileşimi, sertliği ve mikroorganizma topluluğu zaman içerisinde değişir. Buna bağlı olarak farklı böcek türleri ve diğer organizmalar odunu farklı dönemlerde kullanır [1,2,4].

Ksilofaj böcekler bu süreçte öncelikle odunun fiziksel yapısını değiştirir. Larvaların ve erginlerin açtığı galeriler odunun içerisinde çok sayıda kanal meydana getirir. Böylece odunun iç yapısı ve yüzey alanı değişir; su, hava, mantar sporları ve diğer mikroorganizmalar için yeni erişim yolları ortaya çıkar. Bu fiziksel değişiklik, odunun daha sonraki ayrışma aşamalarını etkileyebilir [1,10].

Ayrışmasının temel belirleyicisinin yalnızca böcekler olmadığı, odun ayrışmasının büyük ölçüde mikroorganizmaların, özellikle mantarların faaliyetleriyle gerçekleştiği; ancak omurgasızların da tünelleme, parçalama ve diğer biyotik etkileşimler yoluyla önemli katkılar sağlar. Dolayısıyla ksilofaj böcekler, mantarlar ve bakteriler arasında karşılıklı etkileşimlerin bulunduğu bir ayrışma sisteminin parçasıdır [1,11].

Böceklerin açtığı galeriler aynı zamanda farklı mikrohabitatların oluşmasını sağlar. Galerilerin içerisinde nem ve sıcaklık koşulları dış ortamdan farklılaşır. Bu durum diğer omurgasızların, mikroorganizmaların ve bazı küçük canlıların bu alanları kullanmasına olanak tanır. Dolayısıyla tek bir ksilofaj böceğin odun içerisinde oluşturduğu fiziksel değişiklik, daha sonra başka canlıların da yararlanabileceği yeni yaşam alanlarının ortaya çıkmasına neden olur. Yakın tarihli araştırmalar, odun delen böceklerin oluşturduğu yapısal heterojenliğin ölü odunla ilişkili toprak faunası için mikrohabitat sağlayabildiğini göstermektedir [12,13,14].

3.2. Besin Elementlerinin Döngüsüne Katkıları

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Orman ekosistemlerinde azot, fosfor, potasyum ve diğer mineral elementlerin canlılar arasında sürekli olarak dolaşması ekosistem verimliliğinin temelini oluşturmaktadır. Ağaçlar tarafından bünyeye alınan besin elementleri, ağacın ölmesiyle birlikte ölü organik madde içerisinde depolanmış olur. Bu maddelerin ayrıştırılması sonucunda elementler tekrar toprağa ve diğer canlılara ulaşır [4,15].

Ksilofaj böcekler, odunun parçalanmasını ve ayrışmasını kolaylaştırarak bu döngünün hızlanmasına katkıda bulunur. Odun dokusunda açılan galeriler, mikroorganizmaların erişimini kolaylaştırırken böceklerin faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan talaş ve dışkı materyali de daha küçük parçacıklardan oluşan organik madde kaynakları meydana getirir. Bu materyaller daha sonra mantarlar, bakteriler ve diğer ayrıştırıcı organizmalar tarafından kullanır. Ksilofaj böceklerin besin döngüsündeki rolü, bu nedenle yalnızca doğrudan odun tüketiminden ibaret değildir [11,15].

Bazı ksilofaj böceklerde simbiyotik mikroorganizmalar da besin döngüsünün önemli bir parçasıdır. Özellikle azot bakımından fakir olan odunsu materyallerde yaşayan böceklerin, mikroorganizmalarla olan ilişkileri beslenme açısından avantaj sağlar. Güncel araştırmalar, böcek-mikroorganizma ilişkilerinin ksilofaj böceklerin odun gibi besin açısından sınırlı kaynaklardan yararlanabilmelerinde önemli olduğunu göstermektedir. Bu ilişkiler arasında özellikle azot fiksasyonu ve azotlu bileşiklerin geri dönüşümü öne çıkmaktadır [15,16,17].

3.3. Karbon Döngüsü ve Ekosistem İşlevleri

Ağaçlar fotosentez yoluyla atmosferik karbondioksiti organik karbon bileşiklerine dönüştürerek biyokütle içerisinde depolar. Ağacın ölmesiyle birlikte bu karbonun önemli bir kısmı ölü odun içerisinde tutulur. Ölü odunun ayrışması sırasında karbonun bir bölümü atmosferik karbondioksit olarak yeniden açığa çıkarken bir bölümü toprak organik maddesine aktarır [11,18].

Ksilofaj böceklerin odun dokusunda oluşturduğu fiziksel değişiklikler, odun ayrışmasının hızını ve yönünü etkiler. Böceklerin oluşturduğu galeriler mantar ve bakterilerin kolonizasyonunu kolaylaştırdığında, mikrobiyal ayrışma süreçleri de etkiler. Bu nedenle ksilofaj böcekler, karbonun canlı ağaç biyokütlesinden ölü oduna, oradan da toprak ve atmosfere geçişinde doğrudan ve dolaylı etkilere sahip olabilir. Bununla birlikte bu etkinin büyüklüğü böcek türüne, odun türüne, iklim koşullarına ve ayrışma aşamasına göre değişmektedir [11,19].

Bu durum özellikle iklim değişikliği açısından da önemlidir. Sıcaklık ve nem koşullarındaki değişimler hem odun ayrışmasını hem de ksilofaj böceklerin yaşam döngülerini etkileyebilir. Güncel çalışmalar, iklim koşullarındaki değişimlerin ksilofaj böcekler ile onların simbiyotik mikroorganizmaları arasındaki ilişkileri değiştirebileceğini ve bunun odun ayrışması ve karbon döngüsü üzerinde ekolojik sonuçlar doğurabileceğini ortaya koymaktadır [17,20].

3.4. Biyolojik Çeşitlilik ve Besin Ağlarındaki Rolleri

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Ölü ağaçlar, yalnızca ayrışan organik maddeler değildir; aynı zamanda çok sayıda canlı için yaşam alanıdır. Gövde içerisinde oluşan galeriler, çatlaklar ve oyuklar böcekler, akarlar, örümcekler, mantarlar ve diğer omurgasızlar tarafından kullanır. Bu nedenle ksilofaj böceklerin faaliyetleri, ölü odunun habitat değerini artırır [2,21].

Ksilofaj böceklerin kendileri de orman besin ağlarının önemli unsurlarındandır. Larvalar ve erginler; ağaçkakanlar başta olmak üzere çeşitli kuş türleri, yırtıcı böcekler, örümcekler ve diğer böcekçil hayvanlar tarafından besin olarak kullanılır. Böylece ksilofaj böcekler, bitkisel kökenli organik maddeden üst trofik düzeylerdeki tüketicilere enerji aktarılmasına katkıda bulunurlar. Woodborer olarak adlandırılan odun delen böceklerin besin ağlarının önemli bileşenleri olduğu ve çeşitli omurgalı ve omurgasız yırtıcılar için besin sağladığı bildirilmektedir [22,23].

Ayrıca ksilofaj böceklerin oluşturduğu galeriler, ölü odun içerisinde farklı türlerin birlikte yaşayabilmesine olanak sağlar. Bu açıdan bazı ksilofaj böcekler “ekosistem mühendisi” olarak değerlendirilir. Çünkü çevrenin fiziksel özelliklerini değiştirerek başka organizmaların kullanabileceği yeni habitatlar oluştururlar. Son yıllarda yapılan deneysel çalışmalar da odun delen böceklerin oluşturduğu yapısal değişikliklerin ölü odun çevresindeki omurgasız topluluklarını etkileyebildiğini göstermektedir [13,14].

3.5. Orman Süksesyonundaki Önemi

Orman ekosistemlerinde ağaçların ölümü, ekolojik sistemin sona ermesi anlamına gelmemektedir. Aksine ölü ağaçlar, yeni organizmaların kullanabileceği kaynak ve yaşam alanlarına dönüşmektedir. Ksilofaj böcekler bu geçiş sürecinde önemli görevler üstlenir [4,24].

Özellikle zayıflamış ağaçların kolonizasyonu, ağacın fiziksel bütünlüğünün zaman içerisinde bozulmasına katkıda bulunur. Ağaçların ölmesi ve devrilmesi sonucunda orman örtüsünde açıklıklar meydana gelir. Bu açıklıklara ışık ulaşması, sıcaklık ve nem koşullarının değişmesi ve yeni bitkilerin gelişmesi, orman süksesyonunun farklı aşamalarını etkileyebilir. Dolayısıyla bazı ksilofaj böceklerin faaliyetleri, bireysel ağaç düzeyinden başlayarak orman yapısının ve bitki topluluklarının değişimine kadar uzanan sonuçlar doğurabilir [25,26].

Bununla birlikte burada önemli bir ayrım yapılmalıdır. Ksilofaj böceklerin önemli bir bölümü ölmüş, ölmekte olan veya fizyolojik olarak zayıflamış ağaçlarla ilişkilidir. Bu nedenle tüm ksilofaj böceklerin “ağaç zararlısı” olarak değerlendirilmesi bilimsel açıdan doğru değildir. Orman ekolojisindeki rollerinin değerlendirilmesinde böceğin türü, konukçu ağacın durumu, popülasyon yoğunluğu ve ekosistemin özellikleri dikkate alınmalıdır [4,24].

3.6. Ksilofaj Böceklerin Ekonomik ve Olumsuz Etkileri

Ksilofaj böceklerin ekolojik işlevlerinin yanı sıra ekonomik açıdan önemli etkileri de bulunmaktadır. Bazı türler canlı ağaçların odun, kambiyum veya floem dokularına saldırarak ağaçların gelişimini olumsuz etkileyebilir. Özellikle stres altında bulunan ağaçlarda böcek yoğunluklarının artması, ağaçların ölüm sürecini hızlandırır [4,27].

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Bunun yanında bazı istilacı odun delen böcek türleri doğal yayılış alanlarının dışına taşındığında yeni ekosistemlerde ciddi sorunlara yol açar. Örneğin bazı Scolytinae türleri, konukçu bitkiler, odun ve özellikle ahşap ambalaj materyalleri ile taşınarak yeni bölgelere ulaşabilmekte ve burada hem ekonomik hem de ekolojik sonuçlar doğurabilmektedir [28,29].

Bu nedenle ksilofaj böceklerin değerlendirilmesinde "yararlı" ve "zararlı" şeklinde kesin bir ayrım yapmak yerine ekolojik bağlamın dikkate alınması gerekir. Doğal ekosistemde ölü odunun ayrışmasına katkı sağlayan bir organizma, ekonomik açıdan değerli bir plantasyonda veya meyve bahçesinde zararlı olarak değerlendirilir. Ekolojik rol ile ekonomik etki arasındaki bu ayrım, orman entomolojisi açısından büyük önem taşımaktadır [4,30].

3.7. Ksilofaj Böcekler ve Mikroorganizmalar Arasındaki İlişkiler

Ksilofaj böceklerin başarısında mikroorganizmalarla kurdukları ilişkiler önemli bir yere sahiptir. Odunun yapısında bulunan selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi kompleks bileşiklerin parçalanması birçok böcek için doğrudan mümkün değildir. Bu nedenle çeşitli bakteri ve mantarlar, böceklerin beslenmesinde dolaylı veya doğrudan rol oynar [1,9].

Bazı böcekler bağırsaklarında bulunan mikroorganizmalar sayesinde odunsu materyalin parçalanmasından yararlanırken, bazıları odun içerisinde simbiyotik mantarların gelişmesini sağlar. Ambrosia böcekleri bu ilişkinin en dikkat çekici örneklerindendir. Böcekler odun içerisinde galeriler açmakta ve bu galerilerde simbiyotik mantarları yetiştirmektedir. Larvalar ve erginler bu mantarları besin olarak kullanmaktadır [6,19].

Bu karşılıklı ilişkiler, ksilofaj böceklerin yalnızca "odun yiyen böcekler" şeklinde basit bir tanımla açıklanamayacağını göstermektedir. Böcek, mantar ve ağaç arasındaki ilişkiler; ekosistem işleyişinin farklı düzeylerini birbirine bağlayan karmaşık bir ağ meydana getirmektedir [6,7].

3.8. Orman Yönetimi Açısından Önemi

Modern orman yönetiminde ölü odunun tamamen ortamdan uzaklaştırılması, bazı ksilofaj ve saproksilik böcek türlerinin yaşam alanlarının azalmasına neden olabilir. Özellikle yaşlı ağaçların, devrilmiş gövdelerin ve farklı çürüme aşamalarındaki odunların bulunması, oduna bağımlı canlıların devamlılığı açısından önemlidir. Eski ve doğal süreçlerin daha fazla korunduğu ormanlarda ölü odun miktarının ve buna bağlı saproksilik böcek çeşitliliğinin daha yüksek olabildiği bildirilmektedir [4,26,31].

Bu nedenle biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik orman yönetiminde ölü odunun tamamen ortadan kaldırılması yerine, ekosistemin gereksinimleri dikkate alınarak belirli miktarda ve farklı özelliklerde ölü odunun korunması önemli bir yaklaşım olarak düşünülür. Ancak yangın riski, istilacı türler, ekonomik üretim ve hastalık etmenleri gibi faktörler de aynı anda değerlendirilmelidir [32,33].

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Orman yönetiminde temel amaç, ekosistemin doğal süreçlerini korurken ekonomik ve ekolojik riskleri dengeli biçimde yönetmektir. Ksilofaj böceklerin ekolojik rollerinin anlaşılması, bu dengenin kurulmasına katkı sağlar [4,34].

.4. SONUÇ

Ksilofaj böcekler, orman ve diğer karasal ekosistemlerin işleyişinde önemli roller üstlenen ekolojik açıdan çeşitli bir böcek grubudur. Bu canlıların doğadaki önemi yalnızca canlı ağaçlara verdikleri zararlarla değerlendirilmemelidir. Özellikle ölü ve ölmekte olan odunun ayrışması, besin elementlerinin yeniden döngüye katılması, mikroorganizmaların faaliyetlerinin desteklenmesi, mikrohabitatların oluşturulması ve besin ağlarının devamlılığı açısından önemli işlevlere sahiptirler.

Ksilofaj böceklerin odun içerisinde oluşturduğu galeriler, odunun fiziksel yapısını değiştirerek ayrışma süreçlerini etkiler ve mikroorganizmaların oduna erişimini kolaylaştırır. Odun ayrışmasında temel rol mikroorganizmalara ait olmakla birlikte, ksilofaj böcekler ve diğer omurgasızların bu süreçteki katkıları da ekosistem işleyişinin anlaşılması açısından önemlidir. Ayrıca oluşturdukları galeriler farklı organizmalar için mikrohabitat sağlayarak ölü odunun biyolojik çeşitlilik açısından değerini artırır ve besin ağlarında enerji aktarımına katkıda bulunur.

Bununla birlikte bazı ksilofaj türleri canlı ağaçlarda zarara neden olur ve istilacı türler yeni ekosistemlerde ekonomik ve ekolojik sorunlar oluşturabilir. Bu nedenle ksilofaj böceklerin değerlendirilmesinde “yararlı” veya “zararlı” şeklinde kesin bir ayrım yerine tür, konukçu ağaç, popülasyon yoğunluğu ve ekolojik koşulların birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle iklim değişikliği, kuraklık ve sıcaklık artışı gibi stres faktörlerinin böcek-ağaç-mikroorganizma ilişkilerini değiştirebileceği dikkate alınmalıdır.

Sonuç olarak ksilofaj böceklerin ekolojik işlevlerinin anlaşılması, orman entomolojisinin yanı sıra biyolojik çeşitliliğin korunması, ölü odun ekolojisi, karbon ve besin döngülerinin anlaşılması ve sürdürülebilir orman yönetimi açısından önem taşımaktadır. Bu canlıların ekosistem içerisindeki rollerinin daha ayrıntılı araştırılması hem koruma çalışmalarının hem de ekonomik açıdan önemli türlerin ekolojik denge gözetilerek yönetilmesinin bilimsel temellerini güçlendirecektir.

KAYNAKÇA

1 Ulyshen MD. 2016. Wood decomposition as influenced by invertebrates. Biol Rev. 91(1):70-85. doi:10.1111/brv.12158.

2 Stokland JN, Siitonen J, Jonsson BG. 2012. Biodiversity in dead wood. Cambridge: Cambridge University Press.

3 Bouget C, Brustel H, Nageleisen LM. 2005. Nomenclature of wood-inhabiting groups in forest entomology: Synthesis and semantic adjustments. C R Biol. 328(10-11):936-948. doi: 10.1016/j.crvi.2005.08.003.

4 Grove SJ. 2002. Saproxylic insect ecology and the sustainable management of forests. Annu Rev Ecol Syst. 33:1-23. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150507.

5 Seibold S, Bässler C, Brandl R, Gossner MM, Thorn S, Ulyshen MD, et al. 2015. Experimental studies of dead-wood biodiversity—A review identifying global gaps in knowledge. Biol Conserv. 191:139-149. doi:10.1016/j.biocon.2015.06.006.

6 Hulcr J, Stelinski LL. 2017. The ambrosia symbiosis: From evolutionary ecology to practical management. Annu Rev Entomol. 62:285-303. doi:10.1146/annurev-ento-031616-035105.

7 Peris D. 2021. Origin and evolution of fungus farming in wood-boring Coleoptera—A palaeontological perspective. Biol Rev. 96(6):2476-2488. doi:10.1111/brv.12763.

8 Breznak JA. 1994. Lignocellulose degradation by microorganisms from termite hills and termite guts: A review. FEMS Microbiol Rev. 13(2-3):157-164. doi:10.1111/j.1574-6976.1994.tb00041.x.

9 Brune A. 2014. Symbiotic digestion of lignocellulose in termite guts. Nat Rev Microbiol. 12(3):168-180. doi:10.1038/nrmicro3182.

10 Ulyshen MD. 2013. Quantifying arthropod contributions to wood decay. Methods Ecol Evol. 4(12):1168-1172. doi:10.1111/2041-210X.12012.

11 Seibold S, Rammer W, Hothorn T, Seidl R, Ulyshen MD, Lorz J, et al. 2021. The contribution of insects to global forest deadwood decomposition. Nature. 597(7874):77-81. doi:10.1038/s41586-021-03740-8.

12 Zuo J, Cornelissen JH, Hefting MM, Sass-Klaassen U, van Logtestijn RS, van Hal J, et al. 2016. The (w)hole story: Facilitation of dead wood fauna by bark beetles? Soil Biol Biochem. 95:70-77. doi: 10.1016/j.soilbio.2015.12.015.

13 Tuo G, et al. 2024. Facilitation: Isotopic evidence that wood-boring beetles drive the trophic diversity of secondary decomposers. Soil Biol Biochem. 192:109353. doi: 10.1016/j.soilbio.2024.109353.

14 Zhang Y, et al. 2026. Facilitation by wood-boring beetles: Ecosystem engineering effects on soil macrofauna. For Syst. 16:100480. doi: 10.1016/j.fecs.2026.100480.

15 Ulyshen MD. 2015. Insect-mediated nitrogen dynamics in decomposing wood. Ecol Entomol. 40(Suppl 1):97-112. doi:10.1111/een.12176.

16 Ren X, et al. 2022. Nitrogen acquisition strategies mediated by insect symbionts: A review of their mechanisms, methodologies, and case studies. Insects. 13(1):84. doi:10.3390/insects13010084.

17 Kuprin A, Baklanova V. 2025. The microbiome as a protagonist of xylophagous insects in adaptation to environmental conditions and climate change. Int J Mol Sci. 26(20):10143. doi:10.3390/ijms262010143.

18 Seidl R, et al. 2026. Climate change accelerates global forest deadwood dynamics. Commun Earth Environ. 7:453. doi:10.1038/s43247-026-03651-4.

19 Skelton J, Johnson AJ, Jusino MA, Bateman C, Li Y, Hulcr J. 2019. Relationships among wood-boring beetles, fungi, and the decomposition of forest biomass. Mol Ecol. 28(22):4971-4986. doi:10.1111/mec.15263.

20 Sallé A, Nageleisen LM, Lieutier F. 2014. Bark and wood boring insects involved in oak declines in Europe: Current knowledge and future prospects in a context of climate change. For Ecol Manage. 328:79-93. doi: 10.1016/j.foreco.2014.05.027.

21 Ranius T, et al. 2024. Habitat requirements of deadwood-dependent invertebrates that occupy tree hollows. Biol Rev. 99(4):1421-1438. doi:10.1111/brv.13110.

22 Garrick RC, Collins RJ, Weng YM, Yi S. 2019. Trophic interactions among dead-wood-dependent forest arthropods in the southern Appalachian Mountains, USA. Food Webs. 18: e00112. doi: 10.1016/j.fooweb. 2018.e00112.

23 Dodds KJ, Sweeney J, Allison JD. 2023. Woodborers in forest stands. In: Allison JD, Paine TD, Slippers B, Wingfield MJ, editors. Forest Entomology and Pathology. Cham: Springer. p. 361-415.

24 Ulyshen MD, Šobotník J. 2018. An introduction to the diversity, ecology and conservation of saproxylic insects. In: Ulyshen MD, editor. Saproxylic Insects. Cham: Springer. p. 1-47.

25 Bouget C, Duelli P. 2004. The effects of windthrow on forest insect communities: A literature review. Biol Conserv. 118(3):281-299. doi: 10.1016/j.biocon.2003.09.009.

26 Seibold S, Bässler C, Brandl R, Gossner MM, Thorn S, Ulyshen MD, et al. 2016. Microclimate and habitat heterogeneity as the major drivers of beetle diversity in dead wood. J Appl Ecol. 53(3):934-943. doi:10.1111/1365-2664.12607.

27 Morris JL, Cottrell S, Fettig CJ, Hansen WD, Mattor KM, Jarrett DT, et al. 2017. Bark beetle impacts on socio-ecological systems: Priority research questions. Front Ecol Environ. 15(8):450-459. doi:10.1002/fee.1521.

28 Lantschner MV, Corley JC, Liebhold AM. 2020. Global patterns of insect invasions in coniferous forests. Biol Invasions. 22(5):1713-1724. doi:10.1007/s10530-020-02214-w.

29 Haack RA. 2006. Exotic bark and wood-boring beetles in the USA: Recent introductions and interceptions. Can J For Res. 36(2):269-288. doi:10.1139/x05-269.

30 Brockerhoff EG, Liebhold AM. 2017. Ecology of forest insect invasions. Biol Invasions. 19(11):3141-3159. doi:10.1007/s10530-017-1514-1.

31 Sandström J, Bernes C, Junninen K, Lõhmus A, Macdonald E, Müller J, et al. 2019. Impacts of dead wood manipulation on the biodiversity of temperate and boreal forests: A systematic review. J Appl Ecol. 56(7):1770-1781. doi:10.1111/1365-2664.13419.

32 Merganičová K, Merganič J, Svoboda M, Bače M, Jaloviar P. 2019. Deadwood management in Central European forests: Key considerations for practical implementation. For Ecol Manage. 447:117-135. doi: 10.1016/j.foreco.2019.05.053.

33 Gustafsson L, Baker SC, Bauhus J, Beese WJ, Brodie A, Kouki J, et al. 2012. Retention forestry to maintain multifunctional forests: A world perspective. BioScience. 62(7):633-645. doi:10.1525/bio.2012.62.7.6.

34 Parisi F, Pioli S, Lombardi F, Fravolini G, Marchetti M, Tognetti R. 2018. Linking deadwood traits with saproxylic invertebrates and fungi in European forests—A review. iForest. 11(3):423-436. doi:10.3832/ifor2670-011.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ÜLKEMİZDE BULUNAN KSİLOFAJ BÖCEK TÜRLERİ, BİYOLOJİLERİ, ÖNEMLERİ VE YAYGINLIKLARI

Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU

Adıyaman Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü,
mislamoglu@adiyaman.edu.tr- ORCID ID: 0000-0003-2835-4735

ÖZET

Türkiye, farklı iklim koşulları, yükselti özellikleri ve zengin bitki örtüsü sayesinde çok sayıda ksilofaj böcek türü için uygun yaşam alanları sunmaktadır. Bu türler özellikle Cerambycidae, Buprestidae ve Scolytinae gruplarında yoğunlaşmakta; Cossidae ve Zeuzerinae gruplarında yer alan bazı türler de önemli odun zararlıları arasında bulunmaktadır. Larvaların gövde, dal, kök, kambiyum ve odun dokularında galeriler açması, ağaçların fizyolojik gelişimini olumsuz etkileyerek dal kurumalarına, verim ve odun kalitesinde kayıplara, ileri durumlarda ise ağaç ölümlerine neden olabilmektedir. Türkiye'de *Capnodis tenebrionis (Linnaeus, 1758),* (Coleoptera;Buprestidae), *Monochamus galloprovincialis* (Olivier, 1795), (Coleoptera; Cerambycidae)., *Dendroctonus micans* (Kugelann, 1794), (Coleoptera; Curculionidae), *Tomicus destruens* (Wollaston, 1865), Coleoptera; Curculionidae), *Orthotomicus erosus* (Wollaston, 1857), (Coleoptera; Curculionidae), *Ips sexdentatus* (Börner, 1767), (Coleoptera; Curculionidae) ve *Zeuzera pyrina* (Linnaeus, 1761), (Lepidoptera; Cossidae) ekonomik ve ormancılık açısından dikkat çeken ksilofaj türler arasında yer almaktadır.

Ksilofaj böceklerin yayılışı; konukçu bitkilerin dağılımı, iklim koşulları, yükselti ve ağaçların fizyolojik durumu gibi çevresel ve biyolojik faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte, tüm ksilofaj türlerinin zararlı olarak değerlendirilmesi doğru değildir. Özellikle ölü, yaşlı ve zayıflamış odunlarda gelişen türler, organik maddenin ayrışmasına ve besin elementlerinin ekosisteme yeniden kazandırılmasına katkı sağlar. Bu nedenle ksilofaj böceklerin biyolojisi, yayılışı ve ekolojik ve ekonomik öneminin belirlenmesi, orman ve tarım alanlarının korunması ile ekosistem işlevlerinin sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ksilofaj böcekler, Odun zararlıları, Orman ekosistemleri, Ekolojik işlevler

1. GİRİŞ

Böcekler, karasal ekosistemlerin işleyişinde önemli roller üstlenen ve bitkilerle çeşitli şekillerde etkileşim kuran canlı gruplarından biridir. Odunsu bitkilerin gövde, dal, kök, kambiyum ve floem gibi dokularıyla beslenen böcekler genel olarak ksilofaj böcekler olarak tanımlanmaktadır. Bu böceklerin önemli bir bölümü özellikle larval dönemlerini bitki dokuları

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

içerisinde geçirerek gövde, dal ve köklerde galeriler oluşturmakta ve bitkilerin iletim dokularına zarar verebilmektedir. Oluşturulan galeriler sonucunda gelişme geriliği, dal kurumaları, verim kaybı ve yoğun saldırılarda ağaç ölümleri meydana gelebilmektedir [1,2].

Ksilofaj böcekler içerisinde özellikle Coleoptera takımına bağlı Cerambycidae, Buprestidae ve Curculionidae familyaları ile Lepidoptera takımındaki Cossidae ve Sesiidae familyaları önem taşımaktadır. Bu grupların konukçu tercihleri ve zarar şekilleri türlere göre farklılık göstermektedir. Bazı türler canlı ağaçlarda gelişirken, birçok tür kuraklık, yangın, fırtına ve diğer çevresel stresler nedeniyle zayıflamış veya ölmeye başlamış ağaçları tercih etmektedir. Bu nedenle ksilofaj böceklerin populasyon yoğunluğu, böceğin biyolojik özelliklerinin yanı sıra konukçu bitkinin fizyolojik durumu ve çevre koşullarıyla da yakından ilişkilidir [2].

Türkiye; farklı iklim ve yükselti koşulları, geniş orman alanları ve zengin odunsu bitki çeşitliliği nedeniyle çok sayıda ksilofaj böcek türü için uygun yaşam alanlarına sahiptir. Özellikle çam, ladin, göknar ve meşe ormanları ile meyve yetiştiriciliği yapılan alanlarda çeşitli odun ve kabuk böcekleri ekonomik önem taşımaktadır. Türkiye'deki Cerambycidae faunası üzerine yapılan çalışmalar, bu familyanın ülkede oldukça zengin bir tür çeşitliliğine sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Sama ve ark., 2012). Buprestidae familyasında yer alan bazı türler ise özellikle meyve ağaçları ve orman ağaçlarında önemli zararlara neden olabilmektedir [3]. Türkiye'de ekonomik açıdan önem taşıyan türler arasında Cerambyx cerdo (Linnaeus, 1758), (Coleoptera; Cerambycidae)., Monochamus galloprovincialis (Olivier, 1795), (Coleoptera; Cerambycidae), Capnodis tenebrionis (Linnaeus, 1758), (Coleoptera; Buprestidae), Dendroctonus micans (Kugelann, 1794), (Coleoptera; Curculionidae), Tomicus destruens (Wollaston, 1865), (Coleoptera; Curculionidae), Orthotomicus erosus (Wollaston, 1857), (Coleoptera; Curculionidae) , Ips sexdentatus (Börner, 1767), (Coleoptera; Curculionidae) ve Zeuzera pyrina (Linnaeus, 1761), (Lepidoptera; Cossidae) gibi türler bulunmaktadır [1,4].

Bununla birlikte, tüm ksilofaj böceklerin zararlı olarak değerlendirilmesi doğru değildir. Özellikle ölü, devrilmiş ve çürümekte olan odunlarda gelişen türler, odun materyalinin parçalanmasına ve besin maddelerinin ekosistemde yeniden döngüye katılmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle ksilofaj böcekler, bir yandan ormancılık ve tarım alanlarında ekonomik kayıplara neden olabilen zararlı organizmalar olarak, diğer yandan ayrışma ve madde döngüsü süreçlerinde rol alan ekosistem bileşenleri olarak değerlendirilmelidir [2].

Bu çalışma kapsamında Türkiye'de bulunan başlıca ksilofaj böcek grupları; önemli türleri, konukçu bitkileri, yayılışları ve oluşturdukları zararlar bakımından ele alınmaktadır. Ayrıca ekonomik açıdan önemli türler ile ekosistem içerisinde ayrışma süreçlerine katkı sağlayan türlerin farklı özelliklerinin ortaya konulması amaçlanmaktadır. Ksilofaj böceklerin biyolojilerinin ve konukçu ilişkilerinin bilinmesi, zararların erken dönemde belirlenmesi ve uygun mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

2. KSİLOFAJ BÖCEKLER

Ksilofaj böcekler, yaşamlarının en az bir döneminde odun, kambiyum, floem veya diğer odunsu dokularla beslenen böceklerdir. Özellikle Coleoptera takımına bağlı Cerambycidae,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Buprestidae ve Curculionidae familyaları ile Lepidoptera takımındaki Cossidae ve Sesiidae familyalarında çok sayıda ksilofaj tür bulunmaktadır [1,2]. Bu böceklerin önemli bir bölümü larval dönemini bitki dokuları içerisinde geçirerek gövde, dal, kök ve kök boğazında galeriler açmaktadır. Oluşturulan galeriler, bitkinin iletim ve kambiyum dokularında tahribata neden olarak gelişme geriliği, dal kurumaları, verim kaybı ve yoğun saldırılarda ağaç ölümlerine yol açabilmektedir [1]. Bununla birlikte, özellikle ölü ve zayıflamış odun üzerinde gelişen türler, odunun parçalanması ve ayrışmasına katkı sağlayarak besin maddelerinin ekosistemde yeniden döngüye katılmasında önemli rol oynamaktadır [2].

Türkiye, sahip olduğu farklı iklim ve yükselti koşulları, geniş orman alanları ve zengin odunsu bitki çeşitliliği nedeniyle çok sayıda ksilofaj böcek türü için uygun yaşam alanlarına sahiptir. Türlerin yayılışı; konukçu bitkilerin dağılımı, sıcaklık, yağış, yükselti, orman yapısı ve bitkilerin fizyolojik durumu gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir [1]. Özellikle kuraklık, yangın, fırtına, mekanik yaralanma ve diğer çevresel stresler sonucunda zayıflayan ağaçlar, birçok ksilofaj türü için uygun üreme ve gelişme ortamı oluşturmaktadır. Bu nedenle ksilofaj böceklerin populasyon yoğunlukları, yalnızca türlerin biyolojik özellikleriyle değil, aynı zamanda konukçu ağaçların sağlık durumu ve çevresel koşullarla da yakından ilişkilidir [2].

2.1. Cerambycidae (Uzun Antenli Böcekler)

Türkiye'deki en önemli ksilofaj böcek gruplarından biri Cerambycidae familyasıdır. Familya üyelerinin karakteristik özelliği uzun antenleri ve güçlü çiğneyici ağız parçalarıdır. Larvalar çoğunlukla gövde, dal ve köklerde odun dokusu içerisinde galeriler açarak gelişir. Larva gelişimi türlere göre değişmekle birlikte bir yıldan birkaç yıla kadar sürebilmektedir. Türkiye'de özellikle Cerambyx, Monochamus, Prionus, Morimus, Aromia, Saperda, Plagionotus ve Rhagium cinslerine bağlı türler dikkat çekmektedir [5].

Cerambycidae, Coleoptera takımı içerisinde yer alan ve uzun antenleriyle karakterize edilen önemli bir böcek familyasıdır. Familya üyelerinin yaşam döngüsü yumurta, larva, pupa ve ergin olmak üzere dört gelişme döneminden oluşur. Larvalar çoğunlukla gövde, dal ve köklerde odun, kambiyum veya floem dokularında galeriler açarak gelişir ve larval dönem, yaşam döngüsünün en uzun evresini oluşturur. Türlere bağlı olarak gelişme süresi bir yıldan birkaç yıla kadar değişebilir. Erginler ise çoğunlukla konukçu bitkilerin gövde ve dalları üzerinde bulunur ve çiftleşme ile yumurta bırakma faaliyetlerini gerçekleştirir [6,7].

Cerambycidae türlerinin önemli bir bölümü zayıflamış, kurumuş, devrilmiş veya ölü ağaçları tercih etmekle birlikte, bazı türler canlı ağaçlarda da gelişerek ekonomik zararlara neden olabilir. Larvaların odun içerisinde oluşturduğu galeriler, bitkinin iletim dokularının zarar görmesine ve yapısal bütünlüğünün bozulmasına yol açabilir. Bununla birlikte, ölü odun üzerinde gelişen türler odunun parçalanması ve ayrışmasına katkıda bulunarak orman ekosistemlerindeki madde döngüsünde önemli rol oynar. Bu nedenle Cerambycidae türleri hem ekonomik zararları hem de ekolojik işlevleri açısından birlikte değerlendirilmelidir [6,8].

***Cerambyx cerdo* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera; Cerambycidae)**

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Özellikle meşe (Quercus spp.) ağaçlarıyla ilişkili, büyük vücutlu bir türdür. Larvaları gövde ve kalın dallarda geniş galeriler açar ve özellikle yaşlı ve zayıflamış ağaçlarda gelişir [9].

***Cerambyx scopolii* (Fuessly, 1775) (Coleoptera; Cerambycidae)**

Çeşitli geniş yapraklı ağaçlarda gelişebilen ve Türkiye'nin farklı bölgelerinde kaydedilmiş bir türdür [9].

***Monochamus galloprovincialis* (Olivier, 1795) (Coleoptera; Cerambycidae)**

Başta *Pinus* türleri olmak üzere iğne yapraklılarda gelişmekte ve özellikle zayıflamış, kesilmiş veya devrilmiş ağaç materyaliyle ilişkilendirilmektedir.

***Prionus coriarius* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera; Cerambycidae)**

Farklı geniş ve iğne yapraklı ağaçların kök ve gövde kısımlarında gelişebilmektedir [1].

***Morimus asper* (Sulzer, 1776) (Coleoptera; Cerambycidae)**

Çoğunlukla ölü veya zayıflamış odunlarda gelişen bir tür olup orman ekosistemlerinde ölü odunla ilişkili önemli Cerambycidae üyelerindendir [1].

***Aromia moschata* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera; Cerambycidae)**

Özellikle söğüt (Salix spp.) ve kavak (Populus spp.) gibi ağaçlarla ilişkilidir [1].

***Saperda populnea* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera; Cerambycidae)**

ise başta Populus türlerinde olmak üzere dal ve gövdelerde galeriler oluşturarak zarar meydana getirebilmektedir [1,10].

Plagionotus arcuatus (Linnaeus, 1758) **(Coleoptera; Cerambycidae)**

Rhagium inquisitor (Linnaeus, 1758) **(Coleoptera; Cerambycidae)**

Türkiye'de bulunan ve çoğunlukla zayıflamış veya ölü odunlarla ilişkili türler arasındadır [1].

2.2. Buprestidae

Buprestidae familyasının larvaları genellikle kambiyum ile odun dokusu arasında galeriler açarak gelişmektedir. Türkiye'de özellikle Capnodis ve Agrilus cinsleri tarımsal ve ormancılık açısından önem taşımaktadır [3].

Buprestidae, Coleoptera takımı içerisinde yer alan ve özellikle metalik renkli, parlak görünümlü erginleriyle tanınan önemli bir böcek familyasıdır. Türlerin yaşam döngüsü yumurta, larva, pupa ve ergin dönemlerinden oluşur. Larvalar çoğunlukla ağaç ve çalıların gövde, dal ve köklerinde, özellikle kambiyum ile odun dokusu arasında galeriler açarak gelişir. Larval gelişme süresi türlere ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebilmekte ve bazı türlerde birden fazla yıl sürebilmektedir [11,12].

Buprestidae türlerinin bir bölümü zayıflamış veya stres altındaki ağaçlarda gelişirken, bazı türler sağlıklı bitkilerde de zarar oluşturabilmektedir. Larvaların açtığı galeriler iletim

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

dokularının zarar görmesine, dal kurumalarına, gelişme geriliğine ve yoğun bulaşmalarda ağaç ölümlerine neden olabilir. Türkiye'de özellikle Capnodis ve Agrilus cinsleri tarım ve ormancılık açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte, Buprestidae'nin bazı üyeleri ölü ve çürümekte olan odunların ayrışma süreçlerinde de rol almaktadır [1,12].

***Capnodis tenebrionis* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera; Buprestidae)**

Kayısı, şeftali, erik, kiraz, vişne ve badem gibi sert çekirdekli meyve ağaçlarında önemli zararlara neden olabilmektedir. Larvalar özellikle kök ve kök boğazında galeriler açarak ağacın iletim sistemini ve kök gelişimini olumsuz etkiler; sıcak ve kurak koşullarda zararının daha belirgin hâle gelebildiği bildirilmektedir [3,1].

***Agrilus biguttatus* (Fabricius, 1777) (Coleoptera; Buprestidae)**

Özellikle Quercus türleriyle ilişkili olup kambiyum ve odun arasında galeriler oluşturur [3].

***Agrilus viridis* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera; Buprestidae)**

Çeşitli geniş yapraklı ağaçlarda [3],

***Agrilus sinuatus* (Olivier, 1790) (Coleoptera; Buprestidae)**

Özellikle armut ve diğer Rosaceae türlerinde gelişebilen türlerdir [3].

2.3. Curculionidae: Scolytinae (Kabuk Böcekleri)

Scolytinae, orman ekosistemlerinde önemli ksilofaj gruplarından biridir. Türlerin büyük bölümü kabuk altında, floem ve kambiyum dokularında galeriler oluşturur. Bazı türlerde mantarlarla karşılıklı ilişkiler görülmekte ve bu mantarlar böceklerin beslenmesine katkı sağlamaktadır [13].

Curculionidae, Coleoptera takımının en geniş familyalarından biri olup farklı bitki dokularında beslenen çok sayıda türü içermektedir. Familya üyelerinin önemli bir bölümü hortum şeklindeki baş yapısı ve karakteristik ağız parçalarıyla tanınır. Özellikle Scolytinae ve Platypodinae gruplarında bulunan türlerin larva ve erginleri ağaçların kabuk, floem, kambiyum ve odun dokularında gelişerek galeriler oluşturabilmektedir. Yaşam döngüsü genel olarak yumurta, larva, pupa ve ergin dönemlerinden oluşur ve gelişme süresi türe, konukçu bitkiye ve çevre koşullarına bağlı olarak değişmektedir [13,14].

Curculionidae içerisinde yer alan kabuk ve ambrosia böceklerinin önemli bir bölümü zayıflamış, stres altındaki veya yeni ölmüş ağaçları tercih eder. Bununla birlikte uygun koşullarda bazı türlerin sağlıklı ağaçlara da saldırarak önemli ekonomik zararlara neden olabildiği bilinmektedir. Larvaların ve erginlerin oluşturduğu galeriler kambiyum ve floem dokularının zarar görmesine, iletim sisteminin bozulmasına ve ağaçların zayıflamasına yol açabilir. Türkiye'de özellikle Tomicus, Orthotomicus, Ips ve Dendroctonus cinslerine bağlı türler iğne yapraklı ormanlar açısından önem taşımaktadır. Ayrıca bazı Scolytinae türleri taşıdıkları simbiyotik mantarlarla ilişkili olarak beslenme ortamı oluşturmakta ve bu özellikleri nedeniyle orman ekosistemlerinde önemli ekolojik roller üstlenmektedir [13,14].

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

***Tomicus piniperda* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera; Curculionidae)**

***Tomicus destruens* (Wollaston, 1865) (Coleoptera; Curculionidae)**

***Orthotomicus erosus* (Wollaston, 1857) (Coleoptera; Curculionidae)**

***Ips sexdentatus* (Boerner, 1767) (Coleoptera; Curculionidae)**

Başta Pinus türleri olmak üzere iğne yapraklı ağaçlarla ilişkilidir. Bu türler özellikle zayıflamış ağaçlarda yoğunlaşarak kabuk ve kambiyum dokularında galeriler oluşturabilmektedir [13,1].

***Dendroctonus micans* (Kugelann, 1794) (Coleoptera; Curculionidae)**

Türkiye'nin özellikle Doğu Karadeniz bölgesindeki Doğu ladini (Picea orientalis) ormanları açısından önem taşıyan bir türdür. Türkiye'de 1966 yılında tespit edilen tür, Doğu ladini ormanlarında yayılışını sürdürmektedir. Larvalar ve erginler kabuk altında gelişerek ağacın kambiyum dokusuna zarar vermektedir [4].

***Pityokteines curvidens* (Germar, 1824) (Coleoptera; Curculionidae)**

Özellikle Abies türleriyle ilişkili olup göknar ormanlarında kabuk altı galerileri oluşturan önemli bir Scolytinae türüdür [13].

2.4. Cossidae ve Zeuzerinae

Lepidoptera takımında yer alan bazı türler de larval dönemlerini odun içerisinde geçirerek önemli ksilofaj özellik göstermektedir [1].

Cossidae, Lepidoptera takımı içerisinde yer alan ve larvaları çoğunlukla odunsu bitkilerin gövde, dal ve köklerinde gelişen bir familyadır. Larvalar odun dokusu içerisinde galeriler açarak beslenir ve gelişme dönemlerinin büyük bölümünü konukçu bitkinin dokuları içerisinde geçirir. Bu nedenle Cossidae türleri, özellikle meyve ağaçları ve orman ağaçlarında odun zararlıları arasında değerlendirilmektedir. Larval gelişme süresi türlere ve çevre koşullarına bağlı olarak bir veya daha fazla yıl sürebilmektedir [15].

Familya içerisinde yer alan türler genellikle zayıflamış, yaralanmış veya yaşlı ağaçlarla ilişkilidir. Larvaların gövde ve dallarda oluşturduğu galeriler, bitkinin iletim dokularının zarar görmesine, dalların zayıflamasına ve kurumalarına neden olabilir. Bununla birlikte Cossidae'nin bazı türleri ölü ve çürümekte olan odunun parçalanmasına katkı sağlayarak ekosistemde ayrışma ve besin döngüsü süreçlerinde rol oynar. Türkiye'de Cossus cossus ve Zeuzera pyrina gibi türler odunsu bitkilerle ilişkileri bakımından dikkat çekmektedir [1].

***Zeuzera pyrina* (Linnaeus, 1761) (Lepidoptera; Cossidae)**

Elma, armut, ayva, ceviz, zeytin ve çeşitli odunsu bitkilerde gövde ve dal zararı oluşturabilmektedir. Larvalar odun içerisinde galeriler açarak dalların zayıflamasına ve kırılmasına neden olabilir [1].

***Cossus cossus* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera; Cossidae)**

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Özellikle yaşlı ve kalın gövdeli geniş yapraklı ağaçlarda gelişen önemli bir odun zararlısıdır [1].

Çizelge 1. Türkiye'de Önemli Ksilofaj Türlerin Genel Değerlendirmesi

Takson	**Önemli tür**	**Başlıca konukçular**	**Türkiye'deki önemi**
Cerambycidae	*Cerambyx cerdo*	Meşe	Orman ağaçları
	Cerambyx scopolii	Geniş yapraklılar	Orman
	Monochamus galloprovincialis	Çam	Ormancılık
	Prionus coriarius	Çeşitli odunsular	Orman
	Morimus asper	Geniş yapraklılar	Orman
	Aromia moschata	Söğüt, kavak	Orman/park
	Saperda populnea	Kavak	Kavak yetiştiriciliği
Buprestidae	*Capnodis tenebrionis*	Sert çekirdekli meyveler	**Meyvecilik**
	Agrilus biguttatus	Meşe	Ormancılık
	Agrilus viridis	Geniş yapraklılar	Orman/tarım
	Agrilus sinuatus	Armut, Rosaceae	Meyvecilik
Scolytinae	*Tomicus piniperda*	Çam	Ormancılık
	Tomicus destruens	Çam	Ormancılık
	Orthotomicus erosus	Çam	Ormancılık
	Ips sexdentatus	Çam	Ormancılık
	Dendroctonus micans	Doğu ladini	**Doğu Karadeniz**
	Pityokteines curvidens	Göknar	Ormancılık
Cossidae	*Cossus cossus*	Geniş yapraklılar	Orman/meyve
Zeuzerinae	*Zeuzera pyrina*	Meyve ve odunsu bitkiler	**Meyvecilik**

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3. SONUÇ

Türkiye'de bulunan ksilofaj böcekler, hem doğal orman ekosistemlerinin işleyişi hem de tarımsal üretim açısından önemli bir böcek grubunu oluşturmaktadır. Cerambycidae, Buprestidae ve Scolytinae gruplarının yanı sıra Zeuzera pyrina ve Cossus cossus gibi Lepidoptera türleri de odunsu dokularda oluşturdukları zararlar nedeniyle önem taşımaktadır [1,2]. Özellikle Capnodis tenebrionis meyve ağaçlarında, Dendroctonus micans Doğu Karadeniz'deki Doğu ladini ormanlarında, Monochamus galloprovincialis, Tomicus destruens, Orthotomicus erosus ve Ips sexdentatus ise iğne yapraklı ormanlarda dikkat çeken türler arasında yer almaktadır [4,1].

Ksilofaj türlerin biyolojilerinin, konukçu ilişkilerinin ve yayılış alanlarının bilinmesi; zararların erken dönemde belirlenmesi ve uygun mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi açısından önemlidir. Bununla birlikte, tüm ksilofaj türlerin zararlı olarak değerlendirilmemesi gerekmektedir. Özellikle ölü ve çürümekte olan odunlarda gelişen türler, odun materyalinin ayrışmasına ve besin maddelerinin ekosistemde yeniden döngüye katılmasına katkı sağlayarak orman ekosistemlerinin doğal işleyişinde önemli rol üstlenmektedir [2]. Bu nedenle Türkiye'de ksilofaj böceklerin yönetiminde ekonomik zarar oluşturan türler ile ekolojik süreçlere katkı sağlayan türlerin birbirinden ayrılarak değerlendirilmesi, sürdürülebilir orman ve tarım yönetimi açısından önem taşımaktadır.

4. KAYNAKLAR

1. Lodos, N. (1998). Türkiye Entomolojisi VI: Genel, Uygulamalı ve Faunistik. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, İzmir.

2. Dodds, K. J., Sweeney, J., & Allison, J. D. (2023). Woodborers in forest stands. In Forest Entomology and Pathology. Springer.

3. Lodos, N., & Tezcan, S. (1995). Türkiye Entomolojisi V: Buprestidae (Genel, Uygulamalı ve Faunistik). Entomoloji Derneği Yayınları, İzmir.

4. Alkan-Akinci, H., Eroğlu, M., & Özcan, G. E. (2014). Attack strategy and development of Dendroctonus micans (Kug.) (Coleoptera: Curculionidae) on oriental spruce in Turkey. Turkish Journal of Entomology, 38(1), 31–41.

5. Sama, G. (2002). *Atlas of the Cerambycidae of Europe and the Mediterranean Area (Vol. 1: Northern, Western, Central and Eastern Europe, British Isles and Continental Europe)*. Zlín: Vit Kabourek. ISBN: 80-901466-4-3.

6. Linsley, E. G. (1959). Ecology of Cerambycidae. *Annual Review of Entomology*, 4(1), 99–138. **DOI:** 10.1146/annurev.en.04.010159.000531

7. Özdikmen, H. (2013). Turkish Red List Categories in Ceraphycida and Cerambycidae (Coleoptera). *Munis Entomology & Zoology*, 8(1), 392–416

8. Ulyshen, M. D. (2016). Wood decomposition as influenced by invertebrates. Biological Reviews, 91(1), 70–85.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

9. Özdikmen, H. (2007). The longicorn beetles of Turkey (Coleoptera: Cerambycidae) Part I – Black Sea Region. Munis Entomology & Zoology, 2(1), 179–422.

10. Sama, G., Rapuzzi, P., & Özdikmen, H. (2012). Preliminary report of the entomological surveys (2010, 2011) of G. Sama and P. Rapuzzi to Turkey (Coleoptera: Cerambycidae). Munis Entomology & Zoology, 7(1), 22–45.

11. Bellamy, C. L. (2008). A World Catalogue and Bibliography of the Jewel Beetles (Coleoptera: Buprestoidea). Pensoft Publishers.

12. Evans, A. V., Bellamy, C. L., & Cline, A. R. (2015). The Jewel Beetles of North America and Mexico. Princeton University Press.

13. Pfeffer, A. (1995). Zentral- und westpaläarktische Borken- und Kernkäfer (Coleoptera: Scolytidae, Platypodidae). Pro Entomologia, Basel.

14. Hulcr, J., Barnes, I., de Beer, Z. W., et al. (2015). Mycangia of ambrosia beetles. The International Journal of Mycological Society, 6, 1–16.

15. Nielsen, E. S., Edwards, E. D., & Rangsi, T. V. (2000). Checklist of the Lepidoptera of Australia. CSIRO Publishing.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

NANOPARTICLES IN THE DROUGHT-STRESSED PLANT: FROM ROS CONTROL TO IMPROVED STRESS PERFORMANCE

Öğr. Gör., ASLI GÜLEÇ
Malatya Turgut Ozal University,
asli.gulec@ozal.edu.tr, 0009-0004-8435-7038

Doç. Dr., Nurcan YAVUZ
Selcuk University,
ncivicioglu@selcuk.edu.tr, 0000-0003-1833-0668

ABSTRACT

Drought is rapidly emerging as one of the most serious constraints to sustainable crop production under a changing climate. Increasing temperature, irregular precipitation, and rising evaporative demand intensify water deficit, disrupting plant water relations, photosynthesis, osmotic balance, and cellular redox homeostasis. Although plants possess sophisticated mechanisms to cope with drought, prolonged or severe stress can overwhelm these endogenous defense systems, resulting in oxidative damage, impaired growth, and substantial yield losses. This challenge has stimulated interest in nanotechnology as a promising approach for strengthening plant resilience under water-limited conditions.

Nanoparticles possess unique physicochemical properties arising from their small size, high surface area, and surface reactivity, enabling interactions with plants that differ substantially from those of conventional materials. Increasing evidence suggests that selected nanoparticles may influence root development, photosynthetic performance, nutrient and water-use efficiency, antioxidant metabolism, and cellular signaling under drought conditions. Carbon dots and other carbon-based nanomaterials, together with zinc oxide, silver, and particularly cerium oxide (CeO_2) nanoparticles, have therefore attracted considerable attention as potential tools for drought stress management. Their capacity to modulate reactive oxygen species (ROS) homeostasis is especially noteworthy, as controlled regulation of ROS may contribute to maintaining cellular redox balance and limiting oxidative damage.

However, the benefits of nanoparticles are strongly dependent on dose, particle size, surface characteristics, application method, plant species, and environmental conditions. While appropriately designed applications may stimulate protective responses, excessive concentrations can induce oxidative stress, membrane damage, growth inhibition, and phytotoxicity.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

This review critically evaluates the emerging role of nanoparticles—particularly carbon dots and CeO_2 nanoparticles—in drought stress management, focusing on their effects on plant water relations, photosynthesis, antioxidant defense, ROS homeostasis, and stress signaling. The review highlights a key paradigm: nanoparticles may move drought management beyond simply alleviating water deficit toward precisely modulating the plant's own stress-response machinery.

Key words: Carbon dots; Cerium oxide nanoparticles; ROS homeostasis; Oxidative stress; Plant resilience

NANOPARTİKÜLLERLE KURAKLIK STRESİNİN YÖNETİMİ: OKSİDATİF DENGENİN DÜZENLENMESİ VE BİTKİ TOLERANSININ ARTIRILMASI

Özet

Kuraklık, değişen iklim altında sürdürülebilir bitki üretiminin önündeki en ciddi engellerden biri olarak hızla ortaya çıkmaktadır. Artan sıcaklık, düzensiz yağış ve yükselen buharlaşma talebi, su açığını yoğunlaştırarak bitki su ilişkilerini, fotosentezi, ozmotik dengeyi ve hücresel redoks homeostazını bozmaktadır. Bitkiler kuraklıkla başa çıkmak için gelişmiş mekanizmalara sahip olsalar da, uzun süreli veya şiddetli stres bu içsel savunma sistemlerini alt edebilir ve oksidatif hasara, büyüme bozukluğuna ve önemli verim kayıplarına yol açabilir. Bu zorluk, su kısıtlı koşullar altında bitki direncini güçlendirmek için umut vadeden bir yaklaşım olarak nanoteknolojiye olan ilgiyi artırmıştır.

Nanopartiküller, küçük boyutları, yüksek yüzey alanları ve yüzey reaktivitelerinden kaynaklanan benzersiz fizikokimyasal özelliklere sahiptir ve bu da bitkilerle geleneksel malzemelerden önemli ölçüde farklı etkileşimler sağlar. Artan kanıtlar, seçilmiş nanopartiküllerin kuraklık koşulları altında kök gelişimini, fotosentetik performansı, besin ve su kullanım verimliliğini, antioksidan metabolizmasını ve hücresel sinyalleşmeyi etkileyebileceğini göstermektedir. Karbon noktaları ve diğer karbon bazlı nanomalzemeler, çinko oksit, gümüş ve özellikle seryum oksit (CeO_2) nanopartikülleriyle birlikte, kuraklık stresi yönetimi için potansiyel araçlar olarak büyük ilgi görmüştür. Reaktif oksijen türlerinin (ROS) homeostazını düzenleme kapasiteleri özellikle dikkat çekicidir, çünkü ROS'un kontrollü düzenlenmesi hücresel redoks dengesinin korunmasına ve oksidatif hasarın sınırlandırılmasına katkıda bulunabilir.

Ancak, nanopartiküllerin faydaları doz, parçacık boyutu, yüzey özellikleri, uygulama yöntemi, bitki türü ve çevresel koşullara büyük ölçüde bağlıdır. Uygun şekilde tasarlanmış uygulamalar koruyucu tepkileri uyarabilirken, aşırı konsantrasyonlar oksidatif strese, membran hasarına, büyüme inhibisyonuna ve fitotoksisiteye neden olabilir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Bu inceleme, özellikle karbon noktaları ve CeO_2 nanopartikülleri olmak üzere nanopartiküllerin kuraklık stresi yönetimindeki yeni rolünü, bitki su ilişkileri, fotosentez, antioksidan savunma, ROS homeostazı ve stres sinyallemesi üzerindeki etkilerine odaklanarak eleştirel bir şekilde değerlendirmektedir. Bu inceleme önemli bir paradigmayı vurguluyor: nanopartiküller, kuraklık yönetimini sadece su açığını gidermenin ötesine taşıyarak bitkinin kendi stres tepkisi mekanizmasını hassas bir şekilde düzenlemeye doğru yönlendirebilir.

Anahtar kelimeler: Karbon noktaları; Seryum oksit nanopartikülleri; ROS homeostazı; Oksidatif stres; Bitki direnci

1. Introduction

Drought is one of the most important environmental stress factors limiting the sustainability of crop production. Water deficit can cause impaired plant growth and development, reduced photosynthetic capacity, decreases in root and shoot biomass, membrane damage, and yield losses (Kaur et al., 2021). Plants respond to drought stress through mechanisms such as osmotic adjustment, antioxidant defense, hormonal signaling, and modification of root development (Gupta et al., 2020). However, as the intensity and duration of stress increase, these natural defense mechanisms may become insufficient (Bandurska, 2022).

Nanoparticles (NPs) are defined as particles with at least one dimension of 100 nm or less (Rao, 2005; Wilson et al., 2018). Nanoparticles, which can be produced with a wide range of chemical compositions and morphological characteristics, constitute fundamental building blocks of nanotechnology-based applications (Gürmen et al., 2008). Although some nanoparticles have been reported to cause chromosomal fragmentation, DNA strand breaks, and alterations in gene expression, others have been shown to exhibit bioprotective properties against oxidative damage (Elswaifi et al., 2009). Owing to their small size, high surface area, and high reactivity, nanoparticles may have enhanced uptake and bioavailability in plants, increasing their effectiveness in agricultural applications (Pudake et al., 2019; Shang et al., 2019; Siddiqui et al., 2015; Jalil et al., 2023). Thus, nano-based formulations may provide more efficient use of agricultural chemicals by reducing their losses through degradation, photolysis, leaching, and hydrolysis.

The effects of different nanoparticle concentrations and their combined application with other micronutrients on drought tolerance should be investigated to develop optimum application strategies. This requires determining appropriate doses under different climatic conditions and across different plant species. When used appropriately, nanoparticles may act in cooperation

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

with plants; however, excessive doses may cause toxic effects. Therefore, although nanoparticle application represents a sensitive and emerging field of research, it is expected to become a promising approach supporting agriculture in future drought management.

2. Applications of Nanoparticles in Plants

Nanoparticles are used in agricultural production for various purposes. These include accelerating seed germination; promoting root and shoot development; increasing biomass production; supporting chlorophyll content and photosynthetic activity (Khan et al., 2023); improving the uptake and utilization of water and nutrients; protecting plants; enhancing resistance to plant diseases; reducing the use of chemical pesticides (Yin et al., 2023); reducing fertilizer losses; promoting the production of bioactive compounds; and improving tolerance to abiotic stresses (Fig. 1).

The uptake and translocation of nanoparticles in plants depend on particle size, physicochemical properties, plant physiology, and environmental stress factors (Wang et al., 2023). Nanoparticles can be taken up through root and leaf epidermal tissues and subsequently move through plant tissues via apoplastic and symplastic pathways (Gautam et al., 2025). Apoplastic transport occurs through cell walls and intercellular spaces outside the cytoplasm, whereas symplastic transport occurs through cytoplasmic connections mediated by plasmodesmata (Tee and Faulkner, 2024).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

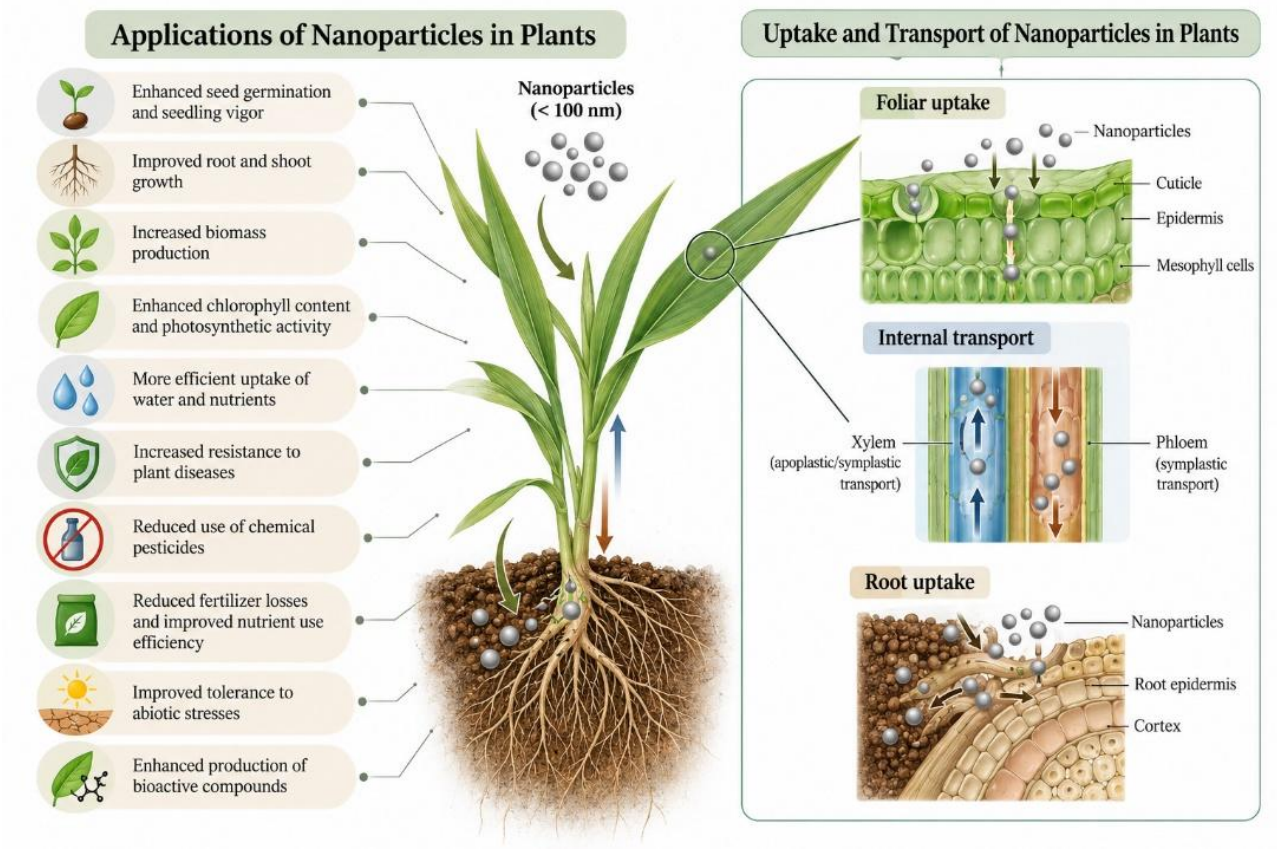


Fig. 1. Applications of nanoparticles in plants

3. Carbon Dots and Drought Management

3.1. Properties of Carbon Dots

Carbon dots (Carbon Quantum Dots, CQDs, C-dots, or CDs) are carbon-based nanomaterials generally ranging from 0.1 to 20 nm in size. They are used in various fields because of their high biocompatibility, stability, photostability, water solubility, optical properties, and ability to interact readily with biomolecules (Yao et al., 2014).

Carboxyl and amino groups present on the surface of carbon dots can confer radical-scavenging properties to these materials. This characteristic is important because carbon dots may limit ROS accumulation under abiotic stress conditions. In agricultural applications, carbon dots have been reported to positively affect seed germination, root elongation, plant growth, disease resistance, carbon fixation, and water and nutrient use efficiency (Maholiya et al., 2023).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3.2. Effects on Plant Growth and Biomass

The effects of carbon dots on plant growth have been investigated in different plant species. According to several studies:

- In mung bean, application of carbon dots at 0.02 mg mL^{-1} increased root length by 29.9%, stem length by 18.3%, and fresh weight by 14.9% (Wang et al., 2018).
- In Chinese cabbage, an application of 3.5 mg L^{-1} increased shoot and root fresh weights by 69.9% and 66.12%, respectively (Zheng et al., 2017).
- In lettuce, application of carbon dots at 30 mg L^{-1} increased biomass by 48.09% (Zhang et al., 2017).
- In peanut, an application of 180 mg L^{-1} increased root activity 3.5-fold and produced approximately 1.5-fold improvements in root length, seedling height, root number, root dry weight, root fresh weight, and shoot fresh weight (Su et al., 2018).

These findings suggest that carbon dots may particularly support root system development, thereby improving plant access to water and nutrients.

3.3. Mechanisms by Which Carbon Dots Alleviate Drought Stress

One of the major effects of carbon dots under drought stress is their ability to support the antioxidant defense system. In peanut, application of carbon dots increased SOD, POD, and CAT activities while decreasing MDA content (Su et al., 2018). Increased activities of SOD, POD, and CAT may contribute to more effective removal of ROS. The decrease in MDA levels indicates that membrane lipid peroxidation and oxidative damage were limited.

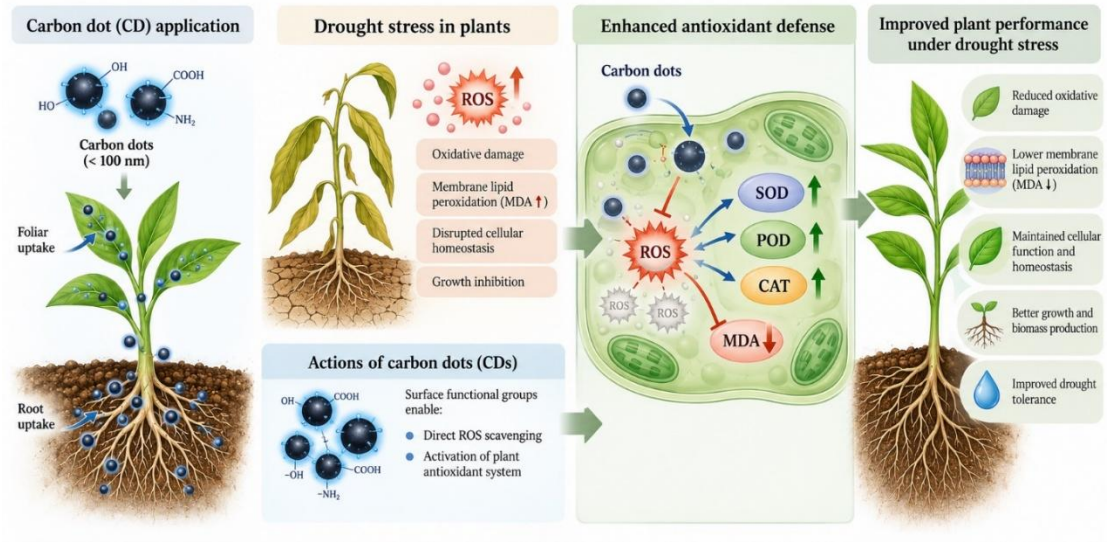


Fig. 2. Effects of nanoparticles on plant defense systems

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

The surface functional groups of carbon dots may contribute directly to ROS scavenging and may also activate the plant's endogenous antioxidant system (Chen et al., 2025). Therefore, carbon dots may be considered not only physical carriers but also materials capable of influencing plant stress signaling and defense metabolism (Liu et al., 2024; Zheng et al., 2026).

4. Physiological and Biochemical Effects of Nanoparticles under Drought Stress

4.1. Water relations and stomatal regulation

One of the major problems faced by plants under drought stress is disruption of the balance between water loss and water uptake. Nanoparticles may support water uptake by promoting root development (Kandhol et al., 2022). Some nanoparticles may influence cell wall properties and stomatal movement, thereby contributing to longer retention of water within the plant (Khan et al., 2024). Although stomatal closure reduces water loss, excessive and prolonged closure restricts CO_2 uptake required for photosynthesis. Therefore, it is important that nanoparticle applications not only reduce transpiration but also maintain photosynthetic activity as much as possible (Salehinia et al., 2026).

4.2. Photosynthesis and pigments

During drought, chlorophyll content and photosynthetic electron transport may decrease. Nanoparticles have been reported to support chlorophyll content, leaf area, and photosynthetic capacity (Naseem et al., 2025). Carbon dots and some metal oxide nanoparticles may help maintain leaf area and light-capturing capacity by promoting plant growth.

However, the effects of nanoparticle application on photosynthesis depend on particle type and dose (Feng et al., 2022). Because excessive doses may increase pigment degradation and oxidative damage, application concentrations should be determined carefully.

4.3. Antioxidant defense

Under drought stress, increased ROS accumulation activates the antioxidant defense system of plants. Nanoparticles may contribute to ROS removal by increasing the activities of enzymes such as SOD, CAT, APX, and POD (Raza et al., 2023).

The ability of carbon dots to increase SOD, POD, and CAT activities and the ROS-scavenging properties of cerium oxide nanoparticles highlight the importance of nanoparticles in reducing

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

oxidative stress. In addition, nanoparticle applications may contribute to osmotic adjustment by regulating the accumulation of proline, soluble sugars, and other osmolytes.

4.4. Membrane integrity and MDA

During drought, lipid peroxidation of membranes increases, resulting in MDA accumulation (Guo et al., 2018). A reduction in MDA levels following nanoparticle application may indicate that membrane damage has been limited (Singh et al., 2025). The reduction in MDA content in peanut exposed to drought stress following carbon dot application provides an important example in this regard (Su et al., 2018).

Maintaining membrane integrity is important for preserving intracellular ion balance and reducing electrolyte leakage (Sun et al., 2026). Therefore, when evaluating the effects of nanoparticles, biochemical indicators such as MDA, H_2O_2, and electrolyte leakage should be considered in addition to growth parameters.

5. Examples of Different Nanoparticle Applications

Nanoparticles have recently attracted considerable research interest, and their effects have been investigated in different plant species and under various stress conditions.

In 2020, nanoparticle applications at 10, 20, 30, and 40 mg L^{-1} were evaluated in drought-tolerant and drought-sensitive wheat cultivars under 100% irrigation and 35% water-deficit conditions. SeNP applications, particularly at 30 mg L^{-1}, produced positive results for plant height; shoot and root length; shoot and root fresh and dry weights; leaf area; leaf number; and leaf length (Ikram et al., 2020).

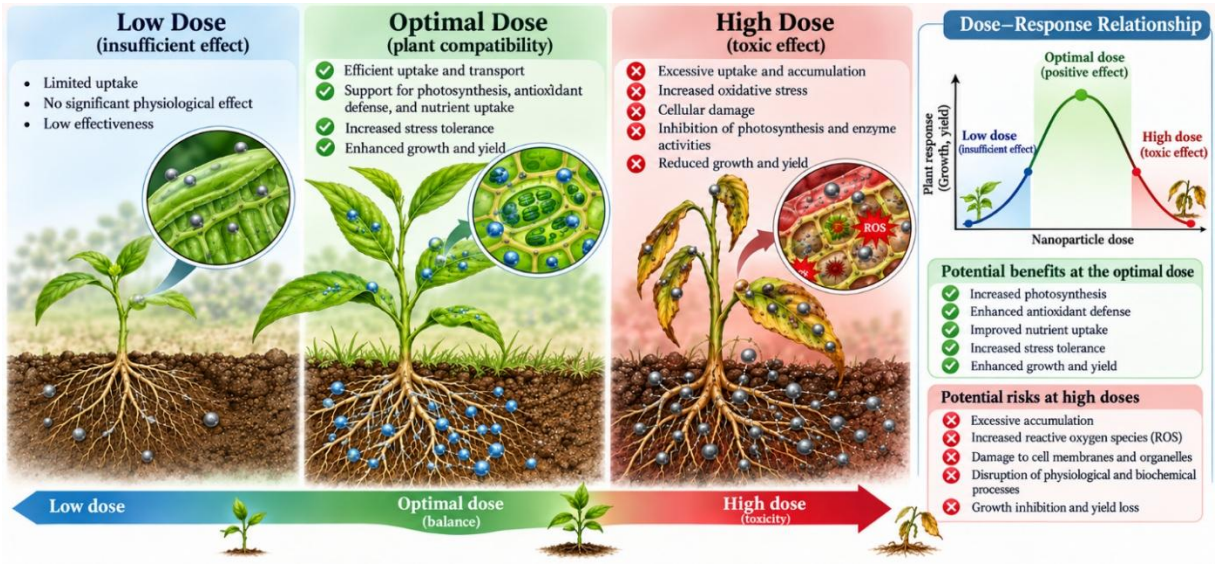


Fig. 3. A figure illustrating the sensitivity of dose determination in the use of nanoparticles

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

In 2025, seed priming with ZnO nanoparticles was conducted in wheat, and different field-capacity levels (80%, 60%, 40%, and 20%) were evaluated. ZnO nanoparticles were applied at concentrations of 0.05%, 0.1%, 0.25%, 0.5%, and 1%. The results indicated that nanoparticle application at 40% field capacity induced the formation of a stress-tolerant protein band (Megahed et al., 2025).

In a study conducted on tomato using silver nanoparticles, 100%, 50%, and 25% irrigation levels were compared with doses of 0, 25, 50, 75, and 100 mg L^{-1}. The 50 ppm treatment produced positive results, whereas the 100 ppm dose caused toxic effects. This example demonstrates that dose is one of the critical determinants distinguishing beneficial from adverse effects of nanoparticles (Akhoundnejad et al., 2023).

Following the application of fullerenol nanoparticles to sugar beet, no proline accumulation was observed. This finding was interpreted as indicating that plants may have developed a different defense mechanism involving intracellular water-binding compounds or additional water reserves. This observation demonstrates that the same biochemical indicators should not necessarily be expected to increase following every nanoparticle application (Borišev et al., 2016).

Another study reported that application of 1 mg L^{-1} Ce_2O_3 nanoparticles promoted root formation in bread wheat, whereas 7 mg L^{-1} promoted shoot formation. This finding indicates that nanoparticle dose may alter their effects on different plant organs (Sarıgül et al., 2024).
In another study, foliar application of 10 mg L^{-1} CeO_2 nanomaterial increased yield by 293.3% in maize under salt stress. This substantial increase demonstrates the potential of cerium oxide nanoparticles to improve plant performance under stress conditions. Nevertheless, such effects may not occur at the same magnitude across different plant species and environmental conditions (Liu et al., 2022).

6. Limitations and Risks of Nanoparticle Applications

One of the most important limitations of agricultural nanoparticle use is that beneficial effects do not occur under all conditions. The effects of nanoparticles may vary depending on the following factors:

- Chemical composition of the nanoparticle
- Particle size and shape
- Surface charge and surface functional groups

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

- Application dose
- Application method
- Application timing
- Plant species and genotype
- Plant developmental stage
- Soil properties
- Severity and duration of drought
- Additional stresses such as temperature, salinity, and heavy metals
- At high concentrations, nanoparticles may increase ROS production, damage cell membranes, disrupt protein structure, and cause DNA damage (Yu et al., 2020). In addition, the potential accumulation of nanoparticles in soil, their effects on soil microorganisms, and their possible transfer through the food chain should be considered.
- Therefore, widespread use of nanoparticles in drought management cannot rely solely on pot and controlled-environment studies. Field trials, long-term environmental monitoring, assessments of product quality, residue studies, and ecotoxicological investigations are also required.

7. Conclusions and Recommendations

Nanoparticles have considerable potential for alleviating drought stress and maintaining plant performance. Different nanomaterials, particularly carbon dots and cerium oxide nanoparticles, have been shown to support root and shoot development, biomass production, photosynthetic capacity, and antioxidant defense.

Nanoparticles may improve water and nutrient uptake under drought stress, regulate stomatal movement, limit chlorophyll loss, reduce ROS accumulation, and increase the activities of antioxidant enzymes such as SOD, CAT, POD, and APX. However, these effects vary depending on nanoparticle type, dose, application method, and plant species.

For the successful use of nanoparticles in drought management, the following points should be considered:

1. Nanoparticles should be selected according to plant species and developmental stage.
2. Large-scale applications should not be initiated before dose–response relationships have been established.
3. Seed priming, foliar application, and soil application should be evaluated separately.

4. Growth and yield parameters should be assessed together with physiological and biochemical indicators.
5. Indicators such as MDA, H_2O_2, proline, chlorophyll, antioxidant enzymes, and electrolyte leakage should be measured.
6. The long-term effects of nanoparticles on soil, rhizosphere microorganisms, and product quality should be investigated.
7. Results obtained under controlled conditions should be validated under field conditions.
8. Nanoparticle applications should be considered complementary to, rather than a substitute for, effective irrigation management.

In conclusion, nanoparticles represent promising tools for developing production systems characterized by enhanced drought resilience and resource-use efficiency. However, sustainable utilization of this potential requires determination of the benefit–toxicity balance, standardization of application doses, and completion of environmental safety assessments.

REFERENCES

Akhoundnejad, Y., Karakaş, Ö., Daşgan, H., Sevgin, N., Gundogdu, G., & Temur, B. (2023). Effects of silver nanoparticles (Ag-NPs) on physiological and biochemical properties of tomato plants under drought stress. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 28*(3), 522–535. https://doi.org/10.37908/mkutbd.1266767

Bandurska, H. (2022). Drought stress responses: coping strategy and resistance. *Plants, 11*(7), 922.

Borišev, M., Borišev, I., Župunski, M., Arsenov, D., Pajević, S., Ćurčić, Ž., Vasin, J., & Djordjević, A. (2016). Drought impact is alleviated in sugar beets (*Beta vulgaris* L.) by foliar application of fullerenol nanoparticles. *PLOS ONE, 11*(11), e0166248. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166248

Chen, F., Yang, N., Huang, X., Lin, J., Zhang, H., Zhang, X., ... & Lei, B. (2025). Carbon dots alleviate photoinhibition and enhance photosynthesis in Chlorella pyrenoidosa. *Chemical Engineering Journal*, *507*, 160429. https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.160429

Elswaifi, S.F., Palmieri, J.R., Hockey, K.S. and Rzigalinski, B.A. 2009. Antioxidant Nanoparticles for Control of Infectious Disease. Infectious Disorders - Drug Targets, 9: 445-452.

Feng, Y., Kreslavski, V. D., Shmarev, A. N., Ivanov, A. A., Zharmukhamedov, S. K., Kosobryukhov, A., ... & Shabala, S. (2022). Effects of iron oxide nanoparticles (Fe3O4) on growth, photosynthesis, antioxidant activity and distribution of mineral elements in wheat (Triticum aestivum) plants. *Plants*, *11*(14), 1894.

Gautam, K., Singh, H., & Sinha, A. K. (2025). Nanotechnology in plant nanobionics: Mechanisms, applications, and future perspectives. *Advanced Biology*, *9*(4), 2400589.

Guo, Y. Y., Yu, H. Y., Yang, M. M., Kong, D. S., & Zhang, Y. J. (2018). Effect of drought stress on lipid peroxidation, osmotic adjustment and antioxidant enzyme activity of leaves and roots of Lycium ruthenicum Murr. seedling. *Russian Journal of Plant Physiology*, *65*(2), 244-250.

Gupta, A., Rico-Medina, A., & Caño-Delgado, A. I. (2020). The physiology of plant responses to drought. *Science*, *368*(6488), 266-269.

Gürmen, S., Ebin, B., & İtü, M. (2008). Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1. Metalurji Dergisi, 150, 31-38.

Ikram, M., Raja, N. I., Javed, B., Mashwani, Z.-R., Hussain, M., Hussain, M., Ehsan, M., Rafique, N., Malik, K., Sultana, T., & Akram, A. (2020). Foliar applications of bio-fabricated selenium nanoparticles to improve the growth of wheat plants under drought stress. *Green Processing and Synthesis*, *9*(1), 706–714. https://doi.org/10.1515/gps-2020-0067

Jalil, S., Alghanem, S. M., Al-Huqail, A. A., Nazir, M. M., Zulfiqar, F., Ahmed, T., ... & Jin, X. (2023). Zinc oxide nanoparticles mitigated the arsenic induced oxidative stress through modulation of physio-biochemical aspects and nutritional ions homeostasis in rice (Oryza sativa L.). Chemosphere, 338, 139566.

Kandhol, N., Jain, M., & Tripathi, D. K. (2022). Nanoparticles as potential hallmarks of drought stress tolerance in plants. *Physiologia Plantarum*, *174*(2), e13665.

Kaur, H., Kohli, S. K., Khanna, K., & Bhardwaj, R. (2021). Scrutinizing the impact of water deficit in plants: Transcriptional regulation, signaling, photosynthetic efficacy, and management. *Physiologia Plantarum*, *172*(2), 935-962.

Khan, S. U., Khan, M. S., Wang, H., Qian, M., Javed, T., Fahad, S., & Lu, K. (2024). Harnessing nanobiotechnology for drought stress: transforming agriculture's future; what, why and how?. *Environmental Science: Nano*, *11*(7), 2861-2884.

Khan, S., Zahoor, M., Khan, R. S., Ikram, M., & Islam, N. U. (2023). The impact of silver nanoparticles on the growth of plants: The agriculture applications. *Heliyon*, *9*(6).

Liu, Y., Cao, X., Yue, L., Wang, C., Tao, M., Wang, Z., & Xing, B. (2022). Foliar-applied cerium oxide nanomaterials improve maize yield under salinity stress: Reactive oxygen species homeostasis and rhizobacteria regulation. *Environmental Pollution*, *299*, 118900. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118900

Liu, Y., Liu, D., Han, X., Chen, Z., Li, M., Jiang, L., & Zeng, J. (2024). Magnesium-doped carbon quantum dot nanomaterials alleviate salt stress in rice by scavenging reactive oxygen species to increase photosynthesis. *Acs Nano*, *18*(45), 31188-31203. https://doi.org/10.1021/acsnano.4c09001

Maholiya, A., Ranjan, P., Khan, R., Murali, S., Nainwal, R. C., Chauhan, P. S., ... & Srivastava, A. K. (2023). An insight into the role of carbon dots in the agriculture system: a review. Environmental Science: Nano, 10(4), 959-995.

Megahed, S. M., El-Bakatoushi, R. F., Amin, A. W., El-Sadek, L. M., & Migahid, M. M. (2025). Nanopriming as an approach to induce tolerance against drought stress in wheat cultivars. *Cereal Research Communications, 53*, 2343–2357. https://doi.org/10.1007/s42976-025-00688-7

Naseem, J., Shah, A. A., Usman, S., Ahmed, S., Gatasheh, M. K., Shaffique, S., & Javad, S. (2025). Green synthesized FeNPs ameliorate drought stress in Spinacia oleracea L. through improved photosynthetic capacity, redox balance, and antioxidant defense. *Scientific Reports*, *15*(1), 1782.

Pudake, R. N., Chauhan, N., & Kole, C. (Eds.). (2019). Nanoscience for sustainable agriculture (Vol. 711). Cham: Springer International Publishing.

Rao, K. S., El-Hami, K., Kodaki, T., Matsushige, K., & Makino, K. (2005). A novel method for synthesis of silica nanoparticles. Journal of colloid and interface science, 289(1), 125-131.

Raza, A., Charagh, S., Salehi, H., Abbas, S., Saeed, F., Poinern, G. E., ... & Varshney, R. K. (2023). Nano-enabled stress-smart agriculture: Can nanotechnology deliver drought and salinity-smart crops?. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, *2*(3), 189-214.

Salehinia, S., Aliniaeifard, S., Addo, P. W., MacPherson, S., Hammad, K., & Lefsrud, M. (2026). Stomata: plant pores connecting preharvest conditions to postharvest quality. *Journal of Agriculture and Food Research*, 103145.

Sarıgül, K., Haliloğlu, K., Türkoğlu, A., Nadaroğlu, H., & Alaylı, A. (2024). Ce_2O_3 nanoparticle synthesis, characterization, and application to callus formation and plant regeneration from mature embryo culture of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 158*, 49. https://doi.org/10.1007/s11240-024-02842-1

Shang, H., Guo, H., Ma, C., Li, C., Chefetz, B., Polubesova, T., & Xing, B. (2019). Maize (Zea mays L.) root exudates modify the surface chemistry of CuO nanoparticles: Altered aggregation, dissolution and toxicity. Science of the Total Environment, 690, 502-510.

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Firoz, M., & Al-Khaishany, M. Y. (2015). Role of nanoparticles in plants. Nanotechnology and plant sciences: nanoparticles and their impact on plants, 19-35.

Singh, K. M., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Sharma, P. (2025). Nanoparticle-mediated mitigation of salt stress-induced oxidative damage in plants: insights into signaling, gene expression, and antioxidant mechanisms. *Environmental Science: Nano*, *12*(6), 2983-3017.

Su, L. X., Ma, X. L., Zhao, K. K., Shen, C. L., Lou, Q., Yin, D. M., & Shan, C. X. (2018). Carbon nanodots for enhancing the stress resistance of peanut plants. *Acs Omega*, *3*(12), 17770-17777.

Sun, X., Chen, D., Zhan, Z., Wang, Y., Wu, L., Yang, J., ... & Zhang, F. (2026). Research on the texture of canned bamboo shoots preserved under ultra-high pressure: Based on the molecular structure of pectin and cell wall integrity. *Food and Bioproducts Processing*.

Tee, E. E., & Faulkner, C. (2024). Plasmodesmata and intercellular molecular traffic control. *New Phytologist*, *243*(1), 32-47.

Wang, H., Zhang, M., Song, Y., Li, H., Huang, H., Shao, M., Liu, Y., & Kang, Z. (2018). Carbon dots promote the growth and photosynthesis of mung bean sprouts. *Carbon*, *136*, 94–102. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.04.051

Wang, X., Xie, H., Wang, P., & Yin, H. (2023). Nanoparticles in plants: uptake, transport and physiological activity in leaf and root. *Materials*, *16*(8), 3097.

Wilson, D. R., Sen, R., Sunshine, J. C., Pardoll, D. M., Green, J. J., & Kim, Y. J. (2018). Biodegradable STING agonist nanoparticles for enhanced cancer immunotherapy. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine, 14(2), 237-246.

Yao, J., Yang, M., & Duan, Y. (2014). Chemistry, biology, and medicine of fluorescent nanomaterials and related systems: new insights into biosensing, bioimaging, genomics, diagnostics, and therapy. *Chemical reviews*, *114*(12), 6130-6178.

Yin, J., Su, X., Yan, S., & Shen, J. (2023). Multifunctional nanoparticles and nanopesticides in agricultural application. *Nanomaterials*, *13*(7), 1255.

Yu, Z., Li, Q., Wang, J., Yu, Y., Wang, Y., Zhou, Q., & Li, P. (2020). Reactive oxygen species-related nanoparticle toxicity in the biomedical field. *Nanoscale research letters*, *15*(1), 115.

Zhang, P., et al. (2017). *Bioimaging application and growth-promoting behavior of carbon dots from pollen on hydroponically cultivated Rome lettuce.* ACS Omega, 2, 3958–3965. https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00657

Zheng, T., Chi, Q., Wang, Y., Li, T., Liu, W., Zhao, L., ... & Zhang, H. (2026). Green fluorescent carbon dots remodel soil microbial communities and regulate gene expression to enhance the salt stress adaptability of wheat. *Plant and Soil*, *520*(2), 1429-1456. https://doi.org/10.1007/s11104-026-08338-5

Zheng, Y., Zhang, H., Li, W., Liu, Y., Zhang, X., Liu, H., & Lei, B. (2017). Pollen derived blue fluorescent carbon dots for bioimaging and monitoring of nitrogen, phosphorus and potassium uptake in *Brassica parachinensis* L. *RSC Advances*, *7*, 33459–33465. https://doi.org/10.1039/C7RA04644H

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

EVCİL KEDİ VE KÖPEK BESLEMESİNDE YENİ NESİL YAKLAŞIMLAR

Cemal BUDAĞ[1]
[1] Sorumlu yazar
Van YYÜ Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü
cbudag@yyu.edu.tr ORCİD : 0000-0003-3532-7727

Şebnem İlayda KAPUSUZ
Van YYÜ Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü.
sebnemkapusuzz@gmail.com ORCİD : 0009-0005-0024-4595

Özet

Bu derleme bildiri, evcil kedi ve köpeklerin beslenmesinde öne çıkan yeni nesil yaklaşımları güncel literatür ışığında çeşitli yönleri ile ele almayı amaçlamıştır.

Güncel bilimsel literatür taraması yapılarak kişiselleştirilmiş beslenme programlarının geliştirilmesi, fonksiyonel mamalar üzerindeki çalışmalar, doğal/temiz etiketli mama ürünlerinin geliştirilmesi, tahılsız formüllerin geliştirilmesi, düşük karbonhidratlı formüllerin geliştirilmesi, et bazlı diyetler, alternatif protein kaynaklarının yaratılması ve çoğaltılması, probiyotik/prebiyotik içerikli mamaların geliştirilesi, güncel lezzet arttırırcı teknoloji trendleri, mamaların çok katmanlı kaplama ile etkinliğinin arttırılması, taze/minimal işlenmiş mamaları, yaşa ırka özel beslenme sağlayan mamaların geliştirilmesi, hastalığa özel terapötik mamaların geliştirilmesi, sürdürülebilir mama üretiminin sağlanması ve dijital takip destekli beslenme etkinliği incelenmiştir.

Yeni nesil evcil hayvan mamaları geliştirilirken, sadece içerik listesini kısaltmanın ötesine geçmek önemlidir. Bu, içeriklerin kaynağını test etmeyi, proteinler ve ağır metaller gibi tespit edilemeyen kirleticileri belirlemeyi ve izlemeyi ve bağımsız kalite kontrolü uygulamayı içerir. Tahılsız evcil hayvan mamaları, tahıllar yerine fasulye, mercimek, bezelye, patates, tatlı patates ve manyok gibi içerikler kullanır. Yüksek proteinli, et bazlı evcil hayvan mamalarına olan tercih, evcil hayvanın duygusal tepkisinden ve sahibinin "doğal", "taze" ve "yüksek kaliteli" ürünlere ilişkin algısından etkilenir. Araştırılan geleneksel hayvansal proteinlere alternatifler arasında bitkisel proteinler, böcek unu, balık ürünleri, protein hidrolizatları, kalamar, karides ve hücre kültürü proteinleri yer almaktadır. Prebiyotikler, probiyotikler ve postbiyotikler bağırsak mikrobiyotasını, kısa zincirli yağ asidi üretimini, bağırsak kıvamını ve bağışıklık fonksiyonunu destekleyen fonksiyonel bileşenlerdir. Akıllı gıda kapları, dijital tartılar, aktivite monitörleri, kameralar ve mobil uygulamalar, gıda alımını, aktiviteyi ve ağırlığı sürekli olarak izleyerek kişiselleştirilmiş beslenmeyi kolaylaştırır. Ancak bu cihazlar aracılığıyla elde edilen enerji tüketimi verileri, veteriner tavsiyesinin yerini tutmaz.

Evcil hayvan beslenmesinin geleceği, geleneksel ürünlerde veya niş pazarlama sloganlarında değil, klinik olarak kanıtlanmış, şeffaf, çevre dostu ve dijital olarak izlenebilir, her türün özel beslenme ihtiyaçlarını karşılayan bütünsel beslenme sistemlerinde yatmaktadır. Sektör; türe, ırka, yaşa, fizyolojik duruma, bireysel özelliklerine ve hastalık durumuna göre yeni nesil mamalar geliştirmeye yöneldiğinden bu alanlarda uzun vadeli araştırmaların yapılmamsı şarttır.

Anahtar kelimeler: kedi besleme, köpek besleme, fonksiyonel mamalar, dijital besleme

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

NEW GENERATION APPROACHES IN CATS AND DOGS FEEDING

Abstract

This review aims to address various aspects of emerging next-generation approaches in pet cat and dog nutrition in light of current literature.

A current scientific literature review was conducted to examine the development of personalized nutrition programs, studies on functional foods, the development of natural/clean label food products, the development of grain-free formulas, the development of low-carbohydrate formulas, meat-based diets, the creation and expansion of alternative protein sources, the development of probiotic/prebiotic foods, current flavor-enhancing technology trends, increasing the effectiveness of foods with multi-layer coatings, fresh/minimally processed foods, the development of age- and breed-specific nutritional foods, the development of disease-specific therapeutic foods, ensuring sustainable food production, and the effectiveness of digitally tracked nutrition.

When developing next-generation pet foods, it is important to go beyond simply shortening the ingredient list. This includes testing the source of ingredients, identifying and monitoring undetectable contaminants such as proteins and heavy metals, and implementing independent quality control. Grain-free pet foods use ingredients like beans, lentils, peas, potatoes, sweet potatoes, and cassava in place of grains. The preference for high-protein, meat-based pet foods is influenced by the pet's emotional response and the owner's perception of "natural," "fresh," and "high-quality" products. Alternatives to traditional animal proteins explored include plant-based proteins, insect meal, fish products, protein hydrolysates, squid, shrimp, and cell culture proteins. Prebiotics, probiotics, and postbiotics are functional components that support gut microbiota, short-chain fatty acid production, intestinal consistency, and immune function. Smart food containers, digital scales, activity monitors, cameras, and mobile apps facilitate personalized nutrition by continuously monitoring food intake, activity, and weight. However, energy consumption data obtained through these devices does not replace veterinary advice. The future of pet nutrition lies not in traditional products or niche marketing slogans, but in clinically proven, transparent, environmentally friendly, and digitally traceable holistic feeding systems that meet the specific nutritional needs of each species. Long-term research in these areas is essential as the industry moves towards developing next-generation foods tailored to species, breed, age, physiological condition, individual characteristics, and disease status.

Keywords: cat nutrition, dog nutrition, functional foods, digital feeding

Giriş

Evcil hayvan maması araştırma ve geliştirmeleri, temel beslenme ihtiyaçlarını karşılamaktan işlevsel, sağlık odaklı formülasyonlar oluşturmaya doğru kaymıştır. Bu değişim,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

giderek ailenin bir üyesi olarak kabul edilen evcil hayvanların insan yerine konmasıyla (antropomorfizasyonuyla) yakından ilişkilidir ve insanlar, insan beslenmesine benzer şekilde, evcil hayvanların beslenmelerinin sağlığı geliştirmesini, yaşam süresini uzatmasını ve yaşam kalitesini iyileştirmesini beklemektedir. Hayvan odaklı inovasyon, işlevsel evcil hayvan maması gelişiminin önemli bir itici gücü haline gelmiştir. Bu, geleneksel hayvansal proteinler yerine böcekler, bitkiler ve tarım ürünleri gibi alternatif protein kaynaklarının araştırılmasına giderek daha fazla odaklanılmasını içermektedir. Aynı zamanda, hassas ekstrüzyon, kapsülleme ve kontrollü salım sistemleri de dahil olmak üzere işleme teknolojilerindeki ilerlemeler, karmaşık evcil hayvan maması matrislerindeki fonksiyonel bileşenlerin stabilitesini ve dozaj etkinliğini geliştirmiştir. Bu teknolojik yenilikler, tadı ve genel besin dengesini korurken, hassas biyoaktif bileşenlerin eklenmesi olanaklarını genişletmektedir. Fonksiyonel evcil hayvan gıdaları, beslenme bilimi, mikrobiyoloji, gıda endüstrisi ve sürdürülebilirlik dahil olmak üzere birçok perspektiften gelen bilgileri bir araya getiren, hızla genişleyen bir araştırma ve ticaret alanı haline gelmiştir (Kumcu & Wolverton, 2015; Vuthisopon ve ark., 2023).

Fonksiyonel evcil hayvan maması, temel beslenmenin ötesine geçen spesifik fizyolojik faydalar sağlamak üzere tasarlanmış tam bir diyet veya takviye olarak tanımlanabilir. Bu faydalar arasında gastrointestinal sağlığın iyileştirilmesi, bağışıklık tepkilerinin düzenlenmesi, bilişsel işlevin desteklenmesi, metabolizmanın düzenlenmesi veya yaşa bağlı hastalık riskinin azaltılması yer alabilir. Mikrobiyom ve gıda immünolojisi araştırmalarındaki ilerlemeler, biyoaktif maddelerin evcil hayvan sağlığını etkilemedeki önemli rolünü vurgulamaktadır. Bu ilerlemelere, bileşenlerin güvenliği, biyoyararlanımı ve uzun vadeli tolere edilebilirliğinin daha titiz bir şekilde değerlendirilmesi eşlik etmektedir (Vuthisopon ve ark., 2023).

Fonksiyonel evcil hayvan mamaları üzerine bilimsel çalışmalar, üç geniş ve birbiriyle ilişkili yönü ortaya koymaktadır:

1. Sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi çerçeveleri içinde bileşen geliştirme,
2. Gastrointestinal sağlık, metabolik düzenleme ve bağışıklık yeteneği ile ilişkili fonksiyonel özelliklerin geliştirilmesi ve
3. Ticari formülasyonların işleme sonrası kalite güvencesi ve güvenlik doğrulaması (Vuthisopon ve ark., 2023).

Kediler ve köpekler için koku, tat, doku, sıcaklık, yağ içeriği ve gıda koşulları gibi özellikler, hayvanların ürünleri kabul etmesinde önemli ölçüde etkilidir. Bu nedenle yeni nesil kedi ve köpek mamaları, kişiselleştirilmiş beslenmeye dayanmalıdır. Evcil hayvan maması formülasyonları, hayvanın türü ve yaşının yanı sıra vücut kondisyonu, kas kütlesi, aktivite düzeyi, sağlık durumu, kısırlaştırılma durumu, kronik hastalıklar, gıda intoleransları ve günlük yaşam koşullarını da dikkate almalıdır. Ticari evcil hayvan maması formülasyon önerileri referans olarak kullanılmalıdır; yem alımı, hayvanın ağırlığı ve vücut kondisyonundaki değişikliklere göre düzenli olarak ayarlanmalıdır. Dijital teknolojilerin hayvan besleme programlarına entegrasyonu, gelecekteki gelişmeler için önemli bir alandır. Akıllı besleme cihazları, aktivite takip cihazları, otomatik yemleme sistemleri ve mobil uygulamalar, günlük yiyecek ve su alımını, ağırlığı ve aktivite düzeylerini izleyebilir (Bradshaw, 1991).

Yeni ürünler geliştirilirken, sadece besin bileşenleri değil, aynı zamanda gıdanın duyusal özellikleri ve hayvanın beslenme davranışı da dikkate alınmalıdır. Mama üretim araştırmalarının en büyük sınırlamalarından biri, hayvan beslenme bilmi, veteriner hekimliği,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

gıda mühendisliği, davranış bilimleri, pazarlama ve tüketici araştırmalarının genellikle bağımsız olarak yürütülmesidir. Pontembo (2005), farklı disiplinler arasındaki işbirliği eksikliğinin etkili ve kapsamlı sonuçları engellediğini vurgulamaktadır. Besin bileşenleri, sindirilebilirlik, güvenlik, ürün katkı maddeleri ve besin değeri eşit derecede önemlidir. Tüketici algısı, satın alma davranışı ve pazarlama stratejileri de ticari başarıyı etkiler. Bununla birlikte, ticari başarıyı hayvan sağlığı hedefleriyle dengelemek en önemli öncelik olmalıdır (Persich ve ark., 2017).

Kişiselleştirilmiş beslenme programlarının geliştirilmesi

Hayvanın ırkı, yaşı, kilosu ve aktivite durumuna göre beslemenin planlanması. Özellikle ırka özgü hastalıklar, metabolik bozukluklar ve sağlık riskleri söz konusu olduğunda, tüm ırklar için tasarlanmış tek tip ticari köpek mamalarının eksikliklerini gidermeye yönelik mama üretimi için araştırmalar hızla devam etmektedir.

Güncel araştırmalar, makine öğrenmesi ve yapay zeka teknolojilerinin evcil hayvan maması formülasyonuna giderek daha fazla entegre edildiğini göstermektedir. Üretim yöntemleri, sabit oranlara dayalı ve esas olarak maliyetleri düşürmeye odaklanan geleneksel formüllerden, besin değeri, üretim maliyetleri, hammadde bulunabilirliği, hayvan sağlığı ve çevresel sürdürülebilirlik gibi birden fazla hedefi aynı anda değerlendirebilen sistemlere doğru evrilmektedir. Doğrusal programlama gibi klasik optimizasyon yöntemleri besin maliyetlerini ve kısıtlamalarını etkili bir şekilde tahmin edebilse de, besinler arasındaki karmaşık, doğrusal olmayan biyolojik ilişkileri modellemede sınırlıdırlar. Buna karşılık, gelişmiş yapay zeka modelleri daha kapsamlı değerlendirmeler sağlayabilir, ancak büyük miktarda yüksek kaliteli veri ve güçlü bir bilgi işlem altyapısı gerektirir (Akintan ve ark., 2024; Kumar ve Sharma, 2025). Hayvanın cinsiyeti, yaşı, ağırlığı, aktivite düzeyi, fizyolojik durumu ve mevcut tıbbi koşulları, enerji ve besin gereksinimlerini önemli ölçüde etkiler. Bu nedenle, güncel araştırmalar, makine öğrenimi, doğal dil işleme ve matematiksel optimizasyon yöntemlerini diyet formülasyonlarına entegre etmeye odaklanmıştır. Özellikle, köpek maması için geliştirilen model, ham maddenin besin bileşimi, ırka özgü tıbbi durumlar ve ticari olarak temin edilebilen ticari mamalar hakkındaki bilgileri birleştirerek kişiselleştirilmiş yaş mama tariflerini otomatik olarak oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, yapay zeka tabanlı sistemlerin yalnızca genel besin değerini değil, aynı zamanda hayvan sağlığıyla ilgili özel beslenme hedeflerini de dikkate alabileceğini göstermektedir (Akintan ve ark., 2024; Kalikulova ve ark., 2026).

Bu tür sistemlerin geliştirilmesindeki ilk adım, çeşitli kaynaklardan gelen verileri standartlaştırmak ve bir araya getirmektir. Kalikulova ve ark., (2026) tarafından yapılan çalışmada, araştırmacılar USDA Merkezi Gıda Veritabanından uygun köpek mamalarını seçmiş ve bunları ırk, genetik hastalıklar ve ticari olarak temin edilebilen veteriner ilaçları hakkındaki bilgilerle birleştirmişlerdir. TF-IDF ve E5 dil modellerine dayalı metin analizi, ticari ürün açıklamalarındaki sağlık ve kullanım amacına ilişkin bilgileri otomatik olarak doldurmak için kullanıldı. E5 modeli, ürün açıklamalarının bağlamsal ve anlamsal özelliklerini değerlendirmiş ve ortalama %88,2 doğruluk elde etmiş; TF-IDF yöntemin de ise %85,4 doğruluk elde etmişlerdir. Bu sonuçlar, ticari evcil hayvan maması açıklamalarının böbrek, karaciğer ve idrar yolu sağlığı, sindirim sistemi desteği, kilo yönetimi, deri ve tüy sağlığı ve

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

eklem desteği gibi fonksiyonel kategorileri otomatik olarak belirlemek için kullanılabileceğini göstermektedir (Kalikulova ve ark., 2026).

Kalikulova ve ark., (2026)"nın bu çalışmasında fonksiyonel kategori için uygun bileşenler belirlendikten sonra, formüldeki protein, yağ, tahıl, sebze ve su oranını optimize etmek için doğrusal programlama kullanılmıştır. Günlük enerji gereksinimleri, hayvanın metabolik kütlesi, yaşam evresi, aktivite düzeyi ve fizyolojik durumuna göre hesaplanmıştır. Model, protein, yağ, karbonhidrat, vitamin ve mineral gereksinimlerini dikkate almış ve Avrupa Yem ve Gıda Endüstrileri Federasyonu (FEDIAF) beslenme standartlarıyla uyumluydu. Çalışma, makine öğrenimine dayalı bileşen seçiminin daha istikrarlı ve sürdürülebilir formüller üretebileceğini, istatistiksel yöntemlerin ise daha çeşitli ve kategoriye özgü formüller geliştirmeye yardımcı olduğunu göstermiştir (Kalykulova ve ark., 2026).

Makine öğrenmesinin önemli bir uygulaması da mama endüstrisinde kalite ve güvenlik kontrolüdür. Bilgisayar görüşü ve evrişimli sinir ağları, mama parçacıklarının rengini, şeklini, dokusunu ve yüzey özelliklerini analiz ederek yabancı cisimleri, küfü, bozulmayı ve üretim kusurlarını otomatik olarak tespit edebilir. Destek vektör makineleri gibi sınıflandırma yöntemleri, hammaddeleri incelemek, gıda bileşenlerinin kalitesini doğrulamak ve yakın kızılötesi spektroskopi verileri ve benzer analitik yöntemler kullanarak potansiyel hileleri tespit etmek için kullanılabilir. Anormallik tespit sistemleri, üretim hatlarında ve depolarda sıcaklık, nem ve ekipman verilerini değerlendirerek kontaminasyon, uygunsuz depolama koşulları ve ekipman arızaları konusunda erken uyarı sağlayabilir. Bu uygulamalar, manuel denetim ihtiyacını azaltmayı, üretim kayıplarını düşürmeyi ve ürün güvenliğini artırmayı vaat etmektedir (Kumar ve Sharma, 2025).

Ancak, makine öğreniminin yaygın olarak benimsenmemesi, kedi ve köpek beslenme verilerinin yetersiz standardizasyonu, evrensel ticari veri kümelerinin eksikliği, yüksek hesaplama maliyetleri, geleneksel üretim altyapısına entegrasyon zorlukları, düzenleyici gereksinimler ve tüketici güveni sorunları da dahil olmak üzere bir dizi sınırlamayla karşı karşıyadır. Özellikle, derin öğrenme modellerinin karar verme sürecinin her zaman yorumlanabilir olmaması, yapay zeka tarafından geliştirilen formüllerin bilimsel ve yasal olarak doğrulanmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, yorumlanabilir yapay zeka modelleri geliştirmek, uzman gözetimini sürdürmek, otomatik uyumluluk kontrolleri uygulamak ve anonim veri paylaşım sistemlerinin yaygın olarak benimsenmesi geleceğin kilit alanlarıdır. Bağlantılı akıllı mama kapları, aktivite takip cihazları, blok zinciri tabanlı tedarik zincirleri ve gerçek zamanlı sağlık verisi güncellemelerine dayalı beslenme programları gelecekteki araştırmalar için kilit alanlardır. Ayrıca, mikro besinler, fonksiyonel katkı maddeleri, maliyetler, çevresel sürdürülebilirlik ve üretim sırasında gıda kayıpları hakkında bilgi içeren kapsamlı ve güvenilir bir veritabanının oluşturulması, daha kişiselleştirilmiş, güvenli ve bilimsel temelli kedi ve köpek mamalarının üretimini kolaylaştıracaktır (Kumar ve Sharma, 2025).

Fonksiyonel mamalar üzerindeki çalışmalar

Evcil hayvan maması araştırma ve geliştirme çalışmaları, temel beslenme ihtiyaçlarını karşılamaktan, sağlık odaklı, yüksek fonksiyonel ürünler yaratmaya doğru kaymıştır. Bu değişim, evcil hayvanların insanlaştırılması eğilimiyle yakından bağlantılıdır; insanlar giderek

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

evcil hayvanlarını aile üyeleri olarak görmekte ve beslenmelerinin insan beslenmesine benzer şekilde sağlığı desteklemesini, ömrü uzatmasını ve yaşam kalitesini iyileştirmesini beklemektedir. Fonksiyonel evcil hayvan mamaları, beslenme bilimi, mikrobiyoloji, gıda işleme ve sürdürülebilirlik de dahil olmak üzere birçok disiplinden elde edilen bilgilerden yararlanan, hızla büyüyen bir araştırma ve ticari alan haline gelmiştir (Vuthisopon ve ark., 2026).

Fonksiyonel evcil hayvan mamaları, belirli bireysel ihtiyaçları karşılamak ve sağlık (deri-tüy sağlığı, sindirim, eklem ve üriner sistem gibi) yararları sağlamak üzere tasarlanmış, takviye edilmiş veya ek gıdalardır. Araştırmalar, tek besin takviyesinden daha çok, faydalı etkileri artırmak için birden fazla aktif bileşenli entegre formülasyonlara doğru bir değişimi göstermektedir (Vuthisopon ve ark., 2026).

Temel fonksiyonel evcil hayvan maması kategorileri (Di Cerbo ve ark., 2017; Nicotra ve ark., 2025; Vuthisopon ve ark., 2026):

- Bağırsak ve Sindirim Sağlığı: Prebiyotikler, probiyotikler, metabiyotikler, maya ürünleri, fermente edilebilir lif ve dışkı kalitesi düzenleyicileri içerir.
- Bağışıklık Sistemi ve Antioksidan Desteği: Omega-3 yağ asitleri, polifenoller, beta-glukan, E vitamini, selenyum ve çeşitli bitki bazlı biyoaktifler içerebilir.
- Kilo Yönetimi ve Metabolik Sağlık: Daha düşük enerji yoğunluğuna ve düzenlenmiş protein-lif oranına sahip ürünler; glikoz, insülin ve yağ metabolizmasını destekler.
- Böbrek ve İdrar Yolu Sağlığı: Protein, fosfor, sodyum, magnezyum ve idrar pH'ı dikkate alınarak formüle edilmiştir. Bu grup, kronik böbrek hastalığı veya idrar yolu taşı oluşumu riski taşıyan hayvanlar için özel veteriner diyetlerini içerir.
- Deri ve Tüy Desteği: Omega-3 ve omega-6 yağ asitleri, çinko, biotin, yüksek kaliteli protein ve antioksidanlar içerir.
- Alerji ve İntolerans Desteği: Hidrolize proteinler veya evcil hayvanınız tarafından daha önce tüketilmemiş yeni protein kaynakları ile üretilmiştir.
- Eklem ve Kas-İskelet Sistemi Desteği: Glukozamin, kondroitin, omega-3 yağ asitleri, kolajen veya eklem sağlığına faydalı diğer bileşenleri içerebilir.
- Yaşlanma ve Bilişsel Destek: Antioksidanlar, orta zincirli trigliseritler, omega-3 yağ asitleri ve beyin fonksiyonunu destekleyen bileşenler içerir.
- Kardiyovasküler Destek: Taurin, L-karnitin, omega-3 yağ asitleri ve kontrollü sodyum içeriği içerebilir.
- Ağız Sağlığı Desteği: Tartar ve plak oluşumunu azaltmak için özel dokular, lif veya bileşenler içeren ürünler.
- Koku ve Dışkı Kalitesini İyileştiren Evcil Hayvan Mamaları: Yucca, turunçgiller, lif ve mikrobiyom değiştirici katkı maddeleri içerebilir.
- Davranışı Destekleyen ve Stresi Azaltan Evcil Hayvan Mamaları:Sinir sistemini etkileyen özel amino asitler, hidrolize süt proteinleri veya biyoaktif maddeler içeren ürünler.

Öte yandan, bir ürünü sadece “premium”, “doğal”, “tahılsız”, “organik” veya “yüksek proteinli” olarak etiketlemek, onun mutlaka fonksiyonel bir mama olduğu anlamına gelmez. Bir ürünün fonksiyonel olması için belirli sağlık hedeflerini karşılaması, doğru miktarda içerik içermesi ve dengeli bir besin profiline sahip olması gerekir. Böbrek, karaciğer veya idrar yolu

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

hastalıklarını tedavi etmeyi amaçlayan mamalar ile alerjiye neden olan mamalar, bir veteriner hekimin gözetimi altında tüketilmelidir (Di Cerbo ve ark., 2017; Nicotra ve ark., 2025; Vuthisopon ve ark., 2026).

İyi planlanmış, yüksek kaliteli bir diyet, hayvanlarda sosyalleşmeyi teşvik edebilir, insanlarla etkileşim kurma isteklerini artırabilir ve özellikle köpeklerde bazı davranışsal sorunların üstesinden gelmeye yardımcı olabilir. Ayrıca, beslenme stratejileri, kedilerde gece aktivitesi gibi birlikte yaşamı zorlaştıran sorunları ele almak için kullanılabilir. Bu besinler ayrıca, sahipler ve evcil hayvanlar arasındaki ilişkiyi olumsuz etkileyebilecek sağlık ve davranışsal sorunları da azaltabilir. Örneğin, siyah frenk üzümü, adaçayı, kekik ve protein içeren takviyelerin köpeklerde ağız kokusunu azalttığı bildirilmiştir. Benzer şekilde, kuşburnu kökü, çarkıfelek meyvesi, niasinamid, fosfolipidler, L-triptofan ve tiamin içeren ürünlerin stresi ve gürültüye duyarlılığı azalttığı gösterilmiştir (Nicotra ve ark., 2025).

Kalori kısıtlaması, oksidatif hasarı azaltma, vücut sıcaklığını düşürme ve düzenleyici protein yollarını düzenleme ve baskılama gibi mekanizmalar yoluyla yaşam süresini etkileyebilir. Polifenoller, karotenoidler, alkaloidler ve bazı bitki bileşikleri, benzer hücresel yolları etkileyerek kalori kısıtlamasının faydalarını kısmen taklit edebilir. Keten tohumu, ayçiçek tohumu, siyah ginseng, yucca, kestane, kurkumin ve çeşitli bitki özleri, sindirim, bağışıklık ve kardiyovasküler sistemler üzerinde olumlu etkilere sahip olabilir. Resveratrol, alıç flavonoidleri, üzüm çekirdeği proantosiyanidinleri ve çay polifenollerinin oksidatif stresi, metabolik bozuklukları ve bazı gastrointestinal problemleri potansiyel olarak tedavi edebildiği gösterilmiştir. Bu ürünlerin etkinliği doza, hayvanın sağlık durumuna ve kullanım süresine bağlı olduğundan, takviyelerin dengeli bir beslenmenin yerini almaması ve beslemeci gözetiminde kullanılması önemlidir. Fonksiyonel mamalar ve mamalarda yer alan bileşikleri ilişkin çeşitli çalışmalar uzun süredir devam etmektedir (Nicotra ve ark., 2025).

Doğal/temiz etiketli mama ürünlerinin geliştirilmesi

Amerikan Yem Kontrol Yetkilileri Birliği (AAFCO), "doğal mama"yı şu şekilde tanımlar: Tamamen bitkilerden, hayvanlardan veya minerallerden elde edilen, işlenmemiş halde veya herhangi bir fiziksel, termal, saflaştırma, ekstraksiyon, hidroliz, enzimatik hidroliz veya fermantasyona tabi tutulmamış, herhangi bir endüstriyel veya sentetik kimyasal işlemle üretilmemiş ve ancak iyi üretim uygulamalarında kaçınılmaz olan küçük eklemeler dışında katkı maddeleri veya sentetik kimyasal yardımcı maddeler içermeyen bir mama veya bileşeni (AAFCO, 2013). Ancak AAFCO, az miktarda mikro besin maddelerinin besin değeri varsa, doğal evcil hayvan mamalarında sentetik mikro besin maddelerinin kullanımına izin verir (AAFCO, 2013).

Avrupa Birliği'nde "doğal" terimi, Avrupa Yem Sanayi Federasyonu (FEDIAF) tarafından tanımlanmaktadır. Federasyon, "doğal" teriminin yalnızca fiziksel işlemden geçirilmiş (bitkilerden, hayvanlardan, mikroorganizmalardan veya minerallerden elde edilen) ve evcil hayvan maması üretimi için uygun olan ve doğal bileşenlerini koruyan maması bileşenleri için kullanıldığını, belirtmektedir (FEDIAF, 2011). Dondurma, konsantrasyon, ekstraksiyon (kimyasal madde kullanılmadan), kurutma, pastörizasyon veya tütsüleme (kimyasal madde kullanılmadan) gibi işleme yöntemlerine, doğal bileşenlerin korunması koşuluyla izin verilmektedir. Mikrobiyal ve enzimatik işleme, hidroliz veya doğal

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

fermantasyon (genetiği değiştirilmiş organizmalar olmadan) gibi işleme yöntemleri de "doğal" terimiyle birlikte kullanılabilir (FEDIAF, 2011).

Kedi ve köpek mamaları için temiz etiket konsepti, şeffaflık, doğru içerik açıklaması, izlenebilirlik ve bağımsız güvenlik testlerine dayanmaktadır. Kediler ve köpekler genellikle uzun süre aynı ticari mamayı tüketirler. Bu da düşük seviyedeki kirleticilere kronik maruz kalma riskini artırır. Temiz etiket yaklaşımı, etikette listelenen bileşenlerin üründe gerçekten mevcut olmasını, ürünün beyan edilmemiş bileşenlerden arındırılmış olmasını ve ürünün ağır metaller, toksinler ve mikrobiyal tehlikeler açısından test edilmesini gerektirir (Dunham-Cheatham ve ark., 2019).

"Temiz etiketli" ürünlerle ilgili bir diğer önemli endişe ise ürün içeriği ile etikette yapılan iddialar arasındaki tutarsızlıktır. Çalışmalar, ürünlerin etikette listelenmeyen hayvansal proteinler içerebileceğini veya listelenen bazı bileşenlerin tespit edilemeyebileceğini göstermiştir. Bu, özellikle gıda alerjisi veya intoleransı olan hayvanlar için ciddi bir risk oluşturmaktadır. Hidrolize protein, tek hücre proteini, sınırlı içerik listeleri veya hipoalerjenik ürünler gibi belirtilmemiş protein kaynakları, eliminasyon diyetlerinin tanısal değerini azaltır ve kalıcı klinik belirtilere yol açabilir. Ayrıca, “et ve hayvansal yan ürünler”, “hayvan plazması” veya “tavuk unu” gibi genel terimler, tüketicilere hammaddenin kaynağı ve miktarı hakkında yeterli bilgi sağlamayabilir. Temiz etiketleme yöntemleri, net içerik etiketlemesi, tedarik zinciri izlenebilirliği, toksik metallerin ve diğer kirleticilerin düzenli analizi, hayvan türlerini izlemek için moleküler yöntemlerin kullanımı ve analiz sonuçlarının sahiplerine ve tüketicilere şeffaf bir şekilde iletilmesini içermelidir. Yem bileşimi ve içerik kaynakları zamanla değiştiğinden ve yeni kirleticilerin sürekli ortaya çıkmasından dolayı tek seferlik sınırlar ve analizler yeterli değildir (Dunham-Cheatham ve ark., 2019).

Tahılsız formüllerin geliştirilmesi

Evcil hayvan mamalarındaki tahılların köpekler ve kediler üzerinde potansiyel olarak zararlı etkileri olabileceğine dair yaygın inanış nedeniyle, tahılsız evcil hayvan mamaları son yıllarda giderek daha fazla ilgi görmektedir. Tahıllar ve tahıl bazlı bileşenler, kediler ve köpekler için üretilen mamalarda genellikle uygun enerji ve besin kaynakları olarak kullanılır. Tüketicilerin doğal, yüksek kaliteli bileşenlere olan talebine yanıt olarak, evcil hayvan maması üreticileri tahılsız diyetleri daha sağlıklı ve daha doğal bir alternatif olarak tanıtmaya başlamıştır. Bazı evcil hayvan sahipleri, özellikle gluten içeren tahılların evcil hayvanları için potansiyel alerjenler olabileceğine inanmaktadır. Tanım gereği, tahılsız bir diyet buğday, arpa, pirinç, mısır, sorgum, kılçıklı buğday, bulgur, farro, darı, yulaf, çavdar, malt, bira mayası, buğday nişastası, tritikale ve diğer tahılları ve tahıl bileşenlerini içermez. Piyasa sözde "glütensiz" diyetler için reklamlarla doludur. Glüten, prolaminler (bir tür prolamin) ve gluteninden oluşur. Prolaminler, glüten intoleransına neden olan ana glüten proteinleridir. Glütensiz diyetler, buğday, çavdar, arpa ve bunların melezlerini dışlamak veya özel teknolojik işlemlerle glüteni ortadan kaldırmak için tasarlanmıştır (Zhang ve ark., 2025a).

Tüketicilerin tahılsız kuru köpek maması tercihlerini etkileyen birçok faktör olduğu açık olsa da, bazıları diğerlerinden daha önemli olabilmektedir. Örneğin ırk, alerji farkındalığı, tüketicinin kendi beslenme programı, evcil hayvan maması bilgi kaynaklarının çeşitliliği, içerik listelerinin önemi ve belirli iddialar tercih nedenleri arasındadır. Tahılsız mamalar on yıldan

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

fazla bir süredir piyasada ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki tüm kuru köpek mamalarının %40'ından fazlasını oluşturuyor. 2015 yılında, tahılsız evcil hayvan mamasına olan talep Amerika Birleşik Devletleri'nde zirveye ulaşarak pazarın yaklaşık %30'unu oluştururken, bu oran Birleşik Krallık'ta sadece %15, Fransa'da ise %1 idi. Bu durum, tahılsız evcil hayvan mamasına olan talebin ülkelere göre değiştiğini göstermektedir (Banton ve ark., 2021). Tahılsız mama tercihleri kıtalar ve ülkeler arasında bile homojen değildir Tüketici tercihleri ve tahılsız mamalar üzerine yapılan araştırmalar giderek daha çeşitli hale gelmektedir (Banton ve ark., 2021).

Tahılsız kedi ve köpek mamaları buğday, mısır, pirinç, arpa, yulaf veya diğer tahılları içermez; bu da özellikle kuru mama üretiminde ekstrüzyon işlemini kolaylaştırmak için alternatif karbonhidrat kaynaklarının enerji kaynağı olarak kullanılmasını gerektirir. Ticari olarak temin edilebilen tahılsız mamalarda en yaygın bitki bazlı bileşenler bezelye, patates, tatlı patates, mercimek, manyok ve nohuttur. Bezelye, mercimek ve nohut gibi baklagiller, tahıllardan daha fazla protein ve fermente edilebilir lif içerdikleri için tahılsız mamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Baklagiller amilaz ve tripsin inhibitörleri gibi gıda inhibitörlerinin yanı sıra fitohemaglutininler de içermektedir. Bu maddelerin uygun ısı işlemiyle büyük ölçüde etkisiz hale getirildiği ve ısı işlemine tabi tutulmuş bezelye veya nohudun köpek mamalarında kullanımının güvenli olduğu bildirilmiştir. Ancak, yüksek dozda baklagil tüketiminin sindirim, amino asit kullanımı ve bağırsak mikrobiyotası üzerindeki uzun vadeli etkilerini araştırmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Özellikle, bezelye takviyelerinin sağlıklı köpeklerin dışkı mikrobiyota bileşimini değiştirdiği bildirilmiştir. Patates, tatlı patates ve manyok gibi ürünler öncelikle nişasta ve enerji kaynağı olarak kullanılır. Patates nişastası, ekstrüzyon sırasında ürünün genişlemesini artırabilir, ürün hacmini azaltabilir ve sindirilebilirliği ve lezzetini iyileştirebilir. Patatesli ürünler, dışkı pH'ını ve amonyak seviyelerini düşürürken, laktik asit seviyelerini de artırdığı gösterilmiştir. Patates lifi ve dirençli nişasta bağırsakta fermente edilerek asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asit gibi kısa zincirli yağ asitlerinin oluşumunu destekler. Buna karşılık, manyok unu daha az çözünür lif içerir, bu nedenle lif sindirilebilirliği bezelye ürünlerine göre daha sınırlı olmaktadır (Zhang ve ark., 2025a).

Düşük karbonhidratlı formüllerin geliştirilmesi

Tahılsız diyetlerin toplam karbonhidrat içeriğinin tahıl içeren diyetlerden farklı olup olmadığı bilinmemektedir. Etikette belirtilmeyen karbonhidrat içeriği bilgisi üreticiden alınmalıdır; bu bilgi toplam nişasta, toplam şeker veya standardize edilmiş azot içermeyen ekstrakt (NÖM) esas alınarak hesaplanabilir. Karbonhidratlarla ilgili endişelere ek olarak, bazı kedi sahipleri, kedilerde gıda alerjilerinin yaygın olduğuna ve tahılların yaygın bir alerjen olduğuna inandıkları için tahılsız diyetleri tercih ettiklerini düşünür. Aslında kedilerde gıda alerjileri nadirdir. Ortaya çıktıklarında ise genellikle buğday, mısır veya pirinç gibi bitkisel içeriklerden ziyade sığır eti, tavuk, balık veya süt ürünleri gibi hayvansal proteinlerle ilişkilidir (Prantil ve ark., 2018).

Kediler ve köpekler için düşük karbonhidratlı diyetler formüle etmenin temel yaklaşımı, nişastalı bileşenlerin miktarını azaltmak ve enerji içeriklerini eşdeğer protein veya yağ kaynaklarıyla değiştirmektir. Kedilerde yapılan yakın tarihli bir çalışmada, bezelye nişastası

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

yerine ve mamalara tavuk, yumurta, kanatlı hidrolize proteini ve yağ eklenerek benzer vitamin, mineral ve lif seviyelerine sahip düşük karbonhidratlı ekstrüde bir diyet elde edilmiştir. Köpeklerde ise, tavuk ve bezelye proteininin kahverengi pirinç diyetleriyle değiştirilmesi, aynı temel bileşenler kullanılarak yüksek proteinli, düşük karbonhidratlı ve orta proteinli, orta karbonhidratlı formüller elde edilmesini sağlamıştır. Bu çalışmalar, düşük karbonhidratlı diyetler formüle edilirken sadece toplam karbonhidrat içeriğinin değil, aynı zamanda enerji yoğunluğunun, protein kalitesinin, yağ seviyesinin, lif içeriğinin, amino asit dengesinin ve ekstrüzyon özelliklerinin de dikkate alınmasının önemli olduğunu göstermektedir (Banton ve ark., 2025; Godfrey ve ark., 2025).

Et bazlı diyetler

Kedi ve köpek sahiplerinin et bazlı mamaları tercih etmesinde, hayvansal proteinlerin besin değerinin yanı sıra doğallık, tazelik, kalite ve türe uygunlukla ilişkilendirilmesi etkili olmaktadır. Güncel bir tüketici araştırmasında, köpek maması seçiminde protein kaynağının toplam protein oranından daha belirleyici olduğu ve tavuk etinin bezelye proteinine göre daha fazla tercih edildiği gösterilmiştir. Benzer şekilde, kedi ve köpek sahipleri doğal içerik ve taze et beyanlarını ürün kalitesinin önemli göstergeleri arasında değerlendirmektedir. Hayvan açısından ise tercih; yalnızca protein miktarıyla değil, hayvansal ham maddelerin sağladığı aroma, yağ, tat ve işleme sonucu oluşan uçucu bileşiklerle ilişkilidir (Vinassa ve ark., 2020; Watson ve ark., 2023; Singh ve ark., 2026).

Kedilerin ve köpeklerin mamalarda et tercihi, yalnızca hayvanların beslenme fizyolojisiyle açıklanamaz. Bu tercih, sahiplerinin ürün kalitesine ilişkin algıları, evcil hayvanlarıyla aile üyesi olarak olan ilişkileri, yiyeceğin duyusal özellikleri, etikette belirtilen protein kaynağı ve ürünü tüketme istekleri de dahil olmak üzere bir dizi faktörün birleşimiyle şekillenir. Sahipler genellikle taze et veya hayvansal proteinden yapılan ürünleri daha doğal, biyolojik olarak daha faydalı ve daha yüksek kaliteli olarak algılarlar. Tüketici tarafından algılanan kalite, proteinin gerçek besin değerine karşılık gelmez. Protein kalitesi, ham protein miktarına veya ürünün başında etin miktarının belirtilip belirtilmemesine değil, proteinin sindirilebilirliğine, temel amino asitlerin doğru dengesine ve işleme sonrasında bu amino asitlerin biyoyararlanımının korunmasına bağlıdır. (Vinassa ve ark., 2020).

Singh ve ark., (2026) tarafından yapılan bir çalışma, protein kaynağının satın alma davranışı üzerindeki etkisini daha ayrıntılı olarak incelemiştir. Tavuk, katılımcıların seçimlerinde en büyük etkiye sahip olmuş, bunu tavuk unu ve yüksek proteinli mamalar izlemiştir. Başka bir deyişle, protein kaynağı toplam protein içeriğinden daha önemli bulunmuştur. Tavuk unu, taze tavuktan daha az, ancak bezelye proteininden daha tercih edilir bulunmuştur. Bu durum, sahiplerin bitkisel proteine kıyasla hayvansal proteine daha çok değer verdiğini ve ürünün protein içeriğinin ham kaynağını tercih ettiğini göstermektedir.

Diyetteki yüksek ham protein içeriği, köpeğin tüm proteini verimli bir şekilde kullandığı anlamına gelmez. Protein fazla olduğunda, fazla amino asitler enerji üretimi için kullanılır ve azotlu son ürünler olarak atılır, bu da formülasyon maliyetlerini artırır. Bu nedenle, yüksek proteinli ve et ürünlerinin geliştirilmesi, hayvanların gerçek ihtiyaçlarından ziyade pazarlama iddiaları ve tüketici beklentileriyle yönlendirildiğinde, besin değeri sağlamadan kaynak kullanımının artmasına yol açabilir (Singh ve ark., 2026).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Kedi ve köpeklerde besin alımının sadece protein içeriğine değil, aynı zamanda koku, tat, doku, nem içeriği, yağ içeriği, besin sunumu, önceki beslenme deneyimi ve bireysel özellikler gibi faktörlere de bağlı olduğunu vurgulamaktadır. Hayvansal kaynaklı bileşenler, benzersiz uçucu aromatik bileşikleri, yağları, amino asitleri ve üretim sürecindeki reaksiyonları nedeniyle güçlü duyusal özellikler üretebilir. Köpeklerde besin seçimini etkileyen ana faktörün koku olduğu gösterilirken, kedilerde koku, tat, doku ve sıcaklık dahil olmak üzere birden fazla duyusal özellik aynı anda dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, yüksek et ürünü tüketimi sadece hayvanın ete olan biyolojik ihtiyacıyla değil, aynı zamanda hayvansal kaynaklı bileşenlerin yarattığı duyusal uyarımın yoğunluğuyla da ilgilidir (Watson ve ark., 2023).

Kediler zorunlu etobur olduklarından, hayvan dokusuyla yakından ilişkili amino asitler, yağ asitleri ve bazı vitaminler için özel gereksinimleri vardır. Ancak bu, tüm kedi mamalarının mümkün olduğunca çok et içermesi gerektiği anlamına gelmez. Önemli olan, gerekli tüm besin maddelerini yeterli miktarda, kolay sindirilebilir ve biyolojik olarak kullanılabilir bir formda sağlamaktır. Köpekler ise evcilleştirme yoluyla çeşitli besin kaynaklarına daha iyi adapte olmuşlardır. Hayvanın gerçek beslenme ihtiyaçları, sahibinin hayvanın "doğal diyeti" algısından ayrılmalıdır. Et bazlı mamalar hazırlanırken yaş, fiziksel durum, aktivite düzeyi, sağlık durumu ve genel enerji alımı ile tür farklılıkları dikkate alınmalıdır (Watson ve ark., 2023). Araştırmalar, tüketici tercihlerini ve gerçek beslenme davranışını bağımsız ancak birbirleriyle ilişkili sonuçlar olarak incelemelidir. Gelecekteki temel yaklaşım, duyusal analizi gıdaların tadı, dokusu ve besin bileşenleri arasındaki ilişkiler üzerine yapılan çalışmalarla birleştirmek ve bireysel tercihlerin, önceki beslenme deneyiminin, yaşın ve hayvan türünün sonuçlar üzerindeki etkisini analiz etmek olacaktır. Yeni analitik yöntemlerin klasik tat çalışmalarıyla birleştirilmesi, hangi hayvansal bileşenlerin veya üretim koşullarının kabul edilebilirliği artırdığına dair daha net bir anlayış sağlayabilir. Bu, et miktarını artırmak yerine, daha az hayvansal bileşenle uygun amino asit dengesini ve güçlü duyusal özellikleri sağlayan formüllerin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır (Golder ve ark., 2020; Watson ve ark., 2023).

Alternatif protein kaynaklarının yaratılması ve çoğaltılması

Kedi ve köpek maması endüstrisi, geleneksel hayvansal proteinlerin yüksek maliyeti, değişken hammadde tedariki, insan gıda üretim sistemiyle rekabet ve sürdürülebilir üretim ihtiyacı nedeniyle alternatif protein kaynaklarına giderek daha fazla ilgi duymaktadır. Bu alandaki araştırmalar, soya, bezelye ve mercimek gibi bitkisel proteinlerin yanı sıra mikroalglerden, deniz yosunlarından, böceklerden, su ürünleri yan ürünlerinden ve hücre kültürlerinden elde edilen proteinlere odaklanmıştır (Klinmalai ve ark., 2025).

Soya, bezelye ve mercimek gibi baklagiller protein, mamaya nişasta, fermente edilebilir lif, vitamin ve mineral katkıları yanında ekstrüzyon sırasında ürün bağlayıcılığına katkıda bulunabilir. Ancak bu ürünlerde metiyonin, sistein ve lizin gibi temel amino asitlerin bulunabilirliği sınırlıdır. Tripsin inhibitörleri, fitatlar ve lektinler gibi anti-besin bileşenleri de besin emilimini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, çeşitli bitkisel proteinlerin katkı maddesi olarak kullanılması, esansiyel amino asitlerin eklenmesi ve uygun ısıl işlem önemli faktörlerdir. Yapılan bir çalışmada, mama üretiminde kırık pirinç, çeşitli oranlarda kırmızı mercimek yan ürünleriyle değiştirilmiştir. Mercimek yan ürünlerinin orta düzeyde kullanımı besin sindirimini olumsuz etkilememiştir. Kullanım arttıkça, dışkıdaki kısa zincirli yağ

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

asitlerinin miktarı artmış ve dışkı pH'ı düşmüştür. Mercimek oranının artması ekstrüder enerji gereksinimlerini ve mama tanesinin sertliğini artırmıştır. Bu nedenle, işleme koşullarının ham maddeye bağlı olarak ayarlanması gerekmektedir (Penazi ve ark., 2024).

Mikroalgler ve deniz yosunları, protein, uzun zincirli omega-3 yağ asitleri, antioksidanlar, pigmentler ve biyoaktif polisakkaritler için alternatif kaynaklardır. Bu maddeler sadece proteinlerin yerini almakla kalmaz, aynı zamanda bağırsak sağlığını ve antioksidan aktivitesini destekleyen fonksiyonel bileşenler olarak da işlev görürler. Deniz yosunu özlerinin köpeklerde dışkı kıvamını ve antioksidan indeksini iyileştirdiği gösterilmiştir. Deniz yosunlarının besin bileşimi türe, yetiştirme ortamına ve işleme yöntemine bağlı olarak değişir ve yüksek mineral, iyot ve ağır metal içerikleri standardizasyon ve güvenlik analizini gerektirir (Zhang ve ark., 2025b).

Balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliğinden elde edilen yan ürünler de alternatif protein kaynaklarının geliştirilmesi için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Balık başları, derileri, iskeletleri, kuyrukları, et parçaları ve iç organları, kedi ve köpek mamalarında kullanılmak üzere balık unu, protein konsantresi veya enzimatik olarak hidrolize edilmiş proteine dönüştürülebilir. Enzimatik hidroliz sırasında oluşan küçük peptitler, proteinin sindirilebilirliğini ve lezzetini artırabilmektedir. Deniz ürünleri olarak, kalamar unu ve karides hidrolizatı, yüksek protein ve metiyonin içerikleri nedeniyle bazı geleneksel hayvansal proteinlerin yerini alabilecek durumdadır. Kril, istiridye ve diğer kabuklular ve yumuşakçalar, proteinin yanı sıra omega-3 yağ asitleri ve biyoaktif bileşikler sağlayabilir. Bu kaynaklar yaygın olarak kullanılmadan önce, özellikle kedilerde uygun karıştırma oranlarını, amino asit biyoyararlanımını, lezzetini, oksidatif stabilitesini, ağır metaller ve biyojenik aminlerle ilişkili riskleri ve uzun vadeli sağlık etkilerini belirlemek için kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır (Cabrita ve ark., 2024).

Kara asker sineği larvaları ve un kurtları gibi böcekler, yüksek protein içerikleri ve organik yan ürünleri değerli biyokütleye dönüştürme yetenekleri nedeniyle umut vadeden alternatiflerdir. Çalışmalar, düşük yağlı kara asker sineği ununun, uygun besin seviyelerinde protein ve yağ sindirilebilirliğini korurken, köpek mamalarındaki tavuk yan ürününün bir kısmının yerini alabileceğini göstermiştir. Yüksek karıştırma seviyelerinde, kitin içeriği nedeniyle organik madde ve lifin sindirilebilirliği azalabilir. Böcek proteininin bileşimi, büyüme ortamına, böcek türüne, hasat zamanına ve işleme yöntemine bağlı olarak değiştiğinden, her bileşen ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Lezzetlilik ve işleme özellikleri, alternatif proteinlerin yaygın kullanımındaki başlıca sınırlamalardır. Bitkisel proteinlerin eşsiz tadı, alglerin deniz kokusu ve matrislerinden gelen böcek kokusu tüketimi etkiler. Bu nedenle, ürün hazırlığı protein hidrolizi, fermantasyon, tatlandırma ve uygun aroma artırıcıların kullanımını içermelidir. Aynı zamanda, bu işlemler amino asitlerin biyoyararlanımını azaltmamalı veya istenmeyen reaksiyon ürünlerinin oluşmasına yol açmamalıdır (Mioto ve ark., 2026).

Probiyotik/prebiyotik içerikli mamaların geliştirilesi

Kedilerde ve köpeklerde bağırsak mikrobiyotası, besin sindirimi, kısa zincirli yağ asidi üretimi, bağırsak bariyerinin korunması, bağışıklık tepkisinin düzenlenmesi ve patojen baskılanması dahil olmak üzere birçok fizyolojik süreçte kilit rol oynar. Bu nedenle, bağırsak

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

mikrobiyotasını desteklemek ve sindirimi iyileştirmek için fonksiyonel gıdaların geliştirilmesi, evcil hayvan maması endüstrisinde önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Fonksiyonel bileşenler, hayvanların temel beslenme ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayıp aynı zamanda ölçülebilir sağlık yararları da sağlayan maddelerdir. Bu amaçla, sindirilemeyen ve fermente edilebilen lifler, prebiyotikler, probiyotikler, metabiyotikler ve oligosakkaritler mamaya eklenir. İnülin, frukto-oligosakkaritler, mannan-oligosakkaritler, dirençli nişasta, pektin ve bazı bitki lifleri gibi prebiyotik maddeler, bağırsaktaki faydalı mikroorganizmalar tarafından kullanılarak asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asit gibi kısa zincirli yağ asitlerinin üretimini teşvik etmektedir. Bu metabolitler, bağırsak epitel hücrelerine enerji sağlayabilir, bağırsak pH'ını düzenleyebilir ve bağırsak bariyerinin bütünlüğünün korunmasına da yardımcı olabilmektedir. Ancak, mamaya eklenen lifin türü, çözünürlüğü, fermantasyon hızı ve miktarı, dışkı özellikleri, gaz üretimi ve bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkilerini belirler (Lee, 2022; Gramenzi ve ark., 2024; Corbee, 2024).

Probiyotikler, yeterli miktarda tüketildiğinde konakçının sağlığına fayda sağlayabilen canlı mikroorganizmalardır. Postbiyotikler ise inaktif mikrobiyal hücreler, hücre bileşenleri veya metabolitlerini içerir. Probiyotikler, yem işleme ve depolama sırasında aktivitelerini kaybedebilir, bu da kullanımlarını sınırlar. Öte yandan, postbiyotikler, daha yüksek ısı direnci ve raf ömrü nedeniyle kuru ve ekstrüde yemlerde umut vadeden fonksiyonel bileşenler olarak kabul edilir. Bu maddelerin bağırsak bariyerini desteklediği, dışkı kalitesini iyileştirdiği ve bağışıklık tepkilerini artırdığı gösterilmiş olsa da, etkinlikleri mikroorganizma türüne, doza ve hayvanın sağlığına bağlıdır. İnek sütünden elde edilen oligosakkaritler, bağırsak mikrobiyotasının oluşmasına ve faydalı bakterilerin büyümesinin teşvik edilmesine yardımcı olan yeni nesil bileşenlerden biridir. Bu bileşenler, patojenlerin bağırsak yüzeyine yapışmasını azaltır, bağışıklık olgunlaşmasını teşvik eder ve özellikle genç hayvanlarda sindirim sağlığını destekler. Gelecekteki çalışmalar, fonksiyonel bileşenlerin uygun dozunu, birleşik etkilerini ve uzun vadeli güvenliğini belirlemek için farklı yaşam evrelerini, ırkları ve gastrointestinal hastalıkları içermelidir (Belchik ve ark., 2023; López Martí ve ark., 2025; Nicolas ve ark., 2026).

Güncel Lezzet Arttırıcı Teknoloji Trendleri

Kedi ve köpek mamalarının lezzeti, hayvanların mamayı yiyip yemeyeceğini ve doğru şekilde tüketip tüketmeyeceğini belirleyen önemli bir özelliktir. Özellikle kuru mamalarda, düşük nem içeriği, aroma kaybı ve ekstrüzyon işlemleri duyusal özellikleri etkilediğinden, lezzetin iyileştirilmesi ürün formülasyonunun önemli bir parçasıdır. Modern yöntemler sadece aroma verici maddelere değil, aynı zamanda hammadde seçimi, ekstrüzyon ve kurutma koşulları, yağ ilavesi, yüzey kaplama ve aroma salınımı gibi faktörlere yönelik kapsamlı ayarlamalara da dayanmaktadır (Le Guillas ve ark., 2024; Klinmalai ve ark., 2025). Geleneksel aroma verici maddeler arasında hayvansal yağlar, et ve karaciğer özleri, protein hidrolizatları, maya özleri, amino asitler ve nükleotidler bulunur. Günümüzde bu maddelere bitki ve böcek protein hidrolizatları ile fermente ürünler de eklenmektedir. Amaç, protein hidrolizi, fermantasyon ve aroma kaplama gibi yöntemler kullanılarak alternatif proteinlerin otsu, acı veya karakteristik kokularını azaltmaktır (Klinmalai ve ark., 2025).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Proteinlerin enzimatik hidrolizi, lezzet artırma teknolojisinin ana uygulamalarından biridir. Bu işlem, proteinleri küçük peptitlere ve serbest amino asitlere ayırır; bunlar doğrudan yiyeceğe lezzet katar ve lezzet tepkileri için öncü görevi görür. Nonanal, 2-propilpiridin ve 3-okten-2 gibi bazı uçucu bileşikler, yiyecek alımıyla pozitif korelasyon göstermektedir. Bu sonuçlar, lezzetlerin genel bir "etli lezzet" yerine belirli peptit ve uçucu bileşik profillerine göre tasarlanabileceğini göstermektedir (Wei ve ark., 2024). Maillard reaksiyonu ayrıca et ve kavrulmuş etleri lezzetlendirmek için de kullanılmıştır. Amino asitler veya peptitler ile indirgeyici şekerler arasındaki bu reaksiyon, ekstrüzyon ve ısıl işlem sırasında çeşitli aroma bileşikleri üretir. İstenen aromayı elde ederken besin değerini korumak için sıcaklık, nem içeriği, işlem süresi ve hammadde bileşimi optimize edilmelidir (Le Guillas ve ark., 2024). Mikroenkapsülasyon, hayvanları aynı ürünü tüketmeye devam etmek için aromanın yavaş bir şekilde salınmasını eş zamanlı olarak sağlar (Klinmalai ve ark., 2025).

Pasif değerlendirme yöntemleri kedi ve köpekler arasında farklılık gösterir. Kediler tatlılığı algılamazlar, ancak kokulara, amino asitlere, hayvansal yağlara, sıcaklığa ve gıda dokusuna çok seçici bir şekilde tepki verebilirler. Koku köpeklerde önemli bir birincil uyarıcı olsa da, tercih aynı zamanda önceki gıda deneyimi, öğrenilmiş davranış, mama boyutu, sertliği ve tüketiminden de etkilenir. Ayrıca yaş, cins, sağlık durumu, çevresel stres ve önceki beslenme de sonuçları değiştirebilir. Bu nedenle, aynı tadın farklı türler veya tüm yaşam evreleri üzerinde aynı etkiye sahip olduğu varsayılmamalıdır. Bu nedenle farklı türler, yaş grupları ve sağlık durumları için özel tat profilleri geliştirilmelidir. Gelecekte, gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi, gaz kromatografisi-koku analizi, elektronik burunlar ve elektronik diller gibi teknolojilerin ortaya çıkmasıyla tat analizinin daha objektif hale gelmesi beklenmektedir. Elektronik burunlar uçucu kokuları hızlı bir şekilde karşılaştırabilirken, elektronik diller çözünebilir tat bileşiklerini karşılaştırabilir. Bu bilgilerin gıda alımı, ilk tercihler, beslenme hızı ve hayvanın davranışsal tepkileriyle birleştirilmesi, hangi kimyasal özelliklerin gıda alımını teşvik ettiğinin daha hassas bir şekilde belirlenmesini sağlar. Özellikle, görüntü işleme ve yapay zeka yöntemleri, yüz ifadesi, baş ve kulak hareketleri, mama kabına ulaşma süresi ve çiğneme davranışı gibi birden fazla değişkeni aynı anda değerlendirebilir. Bu nedenle, ürün geliştirme sadece tekrarlanan testlere değil, aynı zamanda kimyasal, duyusal ve davranışsal verilerin entegrasyonuna da dayanamalıdır (Calderón ve ark., 2024). Gelecekteki araştırmaların, kedi ve köpekler için spesifik koku uyaranlarına, alternatif proteinlerle maskeleme ihtiyacına, tatlandırıcıların tüketim üzerindeki uzun vadeli etkisine ve yapay zekâ kullanılarak tahmine dayalı modellerin geliştirilmesine odaklanması beklenmektedir (Le Guillas ve ark., 2024; Calderón ve ark., 2024; Wei ve ark., 2024; Klinmalai ve ark., 2025).

Mamaların çok katmanlı kaplama ile etkinliğinin arttırılması

Çok katmanlı kaplama, ekstrüde edilmiş ve kurutulmuş yem peletlerinin ardışık olarak kaplanmasıdır. Kaplama malzemeleri arasında yağlar, sıvı veya toz halindeki aromalar bulunur. Şayet istenirse fonksiyonel bileşenler de bu katmanlara eklenebilir. Bu yöntemde her katman belirli bir rol oynar. Yağ katmanı lezzet ve aroma oluşturmaya yardımcı olurken, sıvı protein hidrolizat yeme etli bir tat verir. Kuru aromanın dış katmanı, hayvanların yeme yaklaşırken ilk koku ve tadı algılamalarına yardımcı olur. Ekstrüzyon sonrası kaplama, yüksek sıcaklıklardan zarar görebilecek aroma ve fonksiyonel bileşenleri korumaya yardımcı olur (Le Guillas ve ark.,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

2024; Klinmalai ve ark., 2025). Kaplama katmanının uygulama sırası, sistemin etkinliğini belirleyen önemli bir faktördür. Yağ ve aroma önceden karıştırılıp aynı anda uygulanırsa, aroma yağ katmanında daha iyi tutulur ve pelet yüzeyindeki dağılımı azalır. Buna karşılık, önce yağ uygulanıp daha sonra ayrı bir sıvı veya toz aroma eklenmesi, daha homojen bir yüzey dağılımı sağlar (Anukiruthika ve ark., 2020; Le Guillas ve ark., 2024).

Çok katmanlı sistemlerde, ilk katmanın yüzeyi, tane yapısını korumak ve aroma yapışmasını teşvik etmek için hazırlanabilir. Sonraki katmanlar, hayvansal yağlar, protein hidrolizatları, maya bileşenleri, amino asitler ve nükleotidler gibi aroma artırıcılar içerebilir. Dış katman, kuru toz aromalar veya belirli sağlık yararları olan maddeler içerebilir. Bu nedenle, büyük miktarlarda tek bir aroma kullanmak yerine, farklı bileşenlerin düşük konsantrasyonlarda birbirini tamamladığı bir duyusal sistem oluşturmak daha iyidir (Klinmalai ve ark., 2025). Yağ kaplamaları, aroma ayrımını kolaylaştırır ve köpek mamasının ağızdan alınmasını kolaylaştırır. Yakın zamanda yapılan bir çalışma, tavuk yağı ve sıvı tavuk aromasıyla kaplanmış ekstrüde köpek mamasının, kaplanmamış köpek mamasına göre daha lezzetli olduğunu ortaya koymuştur. Tavuk yağının serbest oleik asit içeriğinin belirli sınırlar içinde artırılması, ilk köpek maması alımını, gıda alımını, aroma özelliklerini veya besin sindirilebilirliğini olumsuz etkilememiştir (McCracken ve ark., 2026).

Vakum kaplama ve kontrollü soğutma gibi teknolojiler, çok katmanlı kaplamaların etkinliğini artırabilmektedir. Vakum koşullarında, yağ köpek mamasının gözeneklerine nüfuz edebilirken, aromalar yüzeyde ayrı bir katman olarak kalır. Özellikle yüksek yağlı köpek mamalarında, aromaların tamamen yağla kaplanması, köpeklerin ilk temasta algıladığı aromayı azaltabilir. Vakum kaplamadan sonra veya yağ kullanıldıktan sonra aroma eklemek, toz halindeki aromaların ürün yüzeyindeki dağılımını iyileştirir. Ancak bu etkinin, kullanılan aromaların yağ içeriğine, mama gözenekliliğine ve fiziksel özelliklerine bağlı olduğu düşünülmektedir (Le Guillas ve ark., 2024). Çok katmanlı kaplamalar, mamaların sadece lezzetini değil, aynı zamanda işleme ve fonksiyonel özelliklerini de iyileştirebilir. Dış kaplamaya antioksidanlar, antimikrobiyaller veya ısıya duyarlı fonksiyonel malzemeler eklemek, mamanın raf ömrü boyunca stabilitesini ve güvenliğini artırabilmektedir. Çalışmalar orta zincirli yağ asitleri ve yağ kaplamalarının kombinasyonunun kurutulmuş mamaların yüzeyindeki *Salmonella* seviyelerini azaltabileceğini göstermiştir. Bu maddelerin kendine özgü kokuları ve tatları mama alımını azaltabileceğinden, antimikrobiyal etkinlik ve lezzet arasında bir denge bulunmalıdır. Çok katmanlı kaplama teknolojisi, lezzet bileşiklerinin korunmasında, mamaların yüzeyinde homojen lezzet dağılımının sağlanmasında, ilk yeme kabulünün ve nihai tüketimin kolaylaştırılmasında ve ekstrüzyondan sonra ısıya duyarlı bileşenlerin mamaya dahil edilmesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, özellikle kedi ve köpekler için kaplama kıvamı, kaplama kalınlığı, yağ-lezzet etkileşimleri, vakum seviyeleri ve kontrollü lezzet salınımının optimizasyonuna odaklanmalıdır. Laboratuvar ortamında yapılan seçim deneyleri ve uzun vadeli tüketim sonuçları, depolama stabilitesi, oksidasyon ve besin biyoyararlılığı da önemlidir (Samant ve ark., 2021; Le Guillas ve ark., 2024; Klinmalai ve ark., 2025).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Taze/minimal işlenmiş mamaları

Taze ve hafif işlenmiş mamalar, ekstrüde veya döner sterilizasyon yöntemiyle üretilen geleneksel ıslak mamalara alternatif olarak üretilen ürünleri içerir. Bu ürünler kontrollü sıcaklıklarda hazırlanır ve genellikle soğutulmuş veya dondurulmuş olarak satılır. Bu ürünler için işleme yöntemleri arasında buharda pişirme, hafif ızgara, vakum altında kızartma ve vakum altında pişirme yer alır. "Taze", "hafif işlenmiş" ve "insan tüketimine uygun malzemelerden yapılmış" terimleri sıklıkla birbirinin yerine kullanılsa da aynı anlama gelmezler. Ayrıca, taze hazırlanmış mamalar ve çiğ mamalar mikrobiyolojik tehlikeler ve saklama gereksinimleri açısından farklılık gösterir. Taze mamalar daha az ısı işlemine tabi tutulduğu ve genellikle daha az koruyucu madde içerdiği için, güvenli üretim, uygun ambalajlama ve kesintisiz soğuk zincir daha önemlidir. Bu ürünlerin hazırlanmasının ardındaki temel fikir, bütün, tanımlanabilir malzemelerin yem değerini korumak, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç işlemlerini azaltmak ve tüketicilere ev yapımı mamalara benzer bir tat sunmaktır. Ancak, minimum düzeyde işlenmiş veya koruyucu içermeyen ürünlerin mutlaka daha sağlıklı olduğu söylenemez. Mevcut sistematik incelemeler, "kontrollü miktarlarda kullanılan katkı maddeleri ve koruyucuların zararlı olduğu" iddiasını destekleyecek yeterli kanıt sağlamamaktadır. Benzer şekilde, "insan tüketimine uygun" içeriklerin kullanımının standart evcil hayvan mamalarına göre daha yüksek besin değeri veya güvenliğe sahip olduğunu gösteren karşılaştırmalı çalışmalar çok sınırlıdır. İşlemenin etkisi sadece sıcaklığa değil, aynı zamanda içerik türüne, işleme süresine, nem içeriğine ve üretim yöntemine de bağlıdır (Job ve Downs, 2026).

Taze mamaların ortak bir özelliği, yüksek sindirilebilirlikleridir. Yapılan bir çalışma, insan tüketimine uygun içeriklerden yapılan üç tür köpek mamasını karşılaştırılmıştır (ekstrüde ürünler, ticari taze ürünler ve işlenmiş mamalar). Sonuçlar, kuru madde, organik madde, enerji, yağ ve proteinin sindirilebilirliğinin genel olarak taze ve işlenmiş gıdalarda ekstrüde gıdalara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu ürünlerle beslenen köpeklerin dışkı miktarları da daha az olmuştur. Ancak bu ürünler sadece işleme yöntemlerinde değil, kullanılan bileşenlerde ve temel besin maddelerinde de farklılık gösterdiğinden, sonuçlar basitçe "daha az işleme" ile açıklanamaz (Du ve ark., 2021).

Yapılan bir çalışma, taze, dondurulmuş, dondurularak kurutulmuş ve ekstrüde edilmiş köpek mamalarını doğrudan karşılaştırmış ve bazı taze ve dondurularak kurutulmuş mamaların protein ve yağ sindirilebilirliği daha yüksek olsa da, taze pişirilmiş mamalar genellikle kabul edilebilir sindirilebilirlik ve dışkı kalitesi sağladığı saptanmıştır. Ekstrüde edilmiş mama ile beslenen köpeklerin dışkı miktarı diğer gruplara göre daha fazla olmuştur. Farklı mama türlerinin kısa zincirli yağ asitleri, safra asitleri, dışkı özellikleri ve bağırsak mikrobiyotası üzerinde farklı etkileri olmuştur. Bu sonuçlar, tüm beslenme parametreleri açısından tek bir işleme yönteminin diğerinden üstün olmadığını göstermektedir. Diğer belirleyiciler arasında bileşim, lif yapısı, protein kaynağı ve yağ içeriği yer almaktadır (Geary ve ark., 2024). Taze ve kısmen pişirilmiş mamalar da bağırsak mikrobiyotasında önemli değişikliklere neden olabimektedir. Kısmen pişirilmiş ve ekstrüde edilmiş mamaları karşılaştıran 12 haftalık bir çalışma, dışkı mikrobiyotasında farklı bakteri türlerinde ve mikrobiyal metabolik yollarda değişiklikler göstermiştir. Mikrobiyotadaki farklılıklar her zaman klinik sağlık yararlarına dönüşmez. Aynı çalışmada deri ve tüy sağlığında bazı hafif değişiklikler gözlemlenmiş olsa da, çoğu değerlendirme önemli faydalar tespit edememiştir. Bu nedenle, uzun vadeli sağlık,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

güvenlik ve hastalık riski açısından mikrobiyom bileşimindeki değişikliklerin klinik önemi, uzun vadeli çalışmalarla belirlenmelidir (Geary ve ark., 2022).

Taze mamalardaki yüksek nem içeriği, yumuşak doku ve zengin tat mamanın lezzetini artırabilir. Öte yandan, yüksek nem içeriği ve düşük koruyucu madde içeriği raf ömrünü kısaltır ve soğutma veya dondurma gerektirir. Pişirme sıcaklığı, hızlı soğutma, ambalaj bütünlüğü, raf ömrü ve açıldıktan sonraki kullanım koşulları eş zamanlı olarak değerlendirilmelidir. Çünkü üretimden tüketime kadar sıcaklık kontrolünün kesintiye uğraması mikrobiyal çoğalma riskini artırır. Minimal işleme, mama güvenliği önlemlerinin azaltılması anlamına gelmez, aksine daha hassas ve kontrollü bir üretim sistemi anlamına gelir (Job ve Downs, 2026). Bu nedenle, taze ve minimal işlenmiş mamalar, yüksek nem içeriği, iyi organoleptik özellikler, kolay sindirilebilirlik ve azaltılmış dışkı hacmi gibi potansiyel avantajlar sunar. "Tamamen doğal", "koruyucu içermeyen", "besin açısından zengin" veya "insan tüketimine uygun" gibi terimler, besin değerini mutlaka göstermez. Bu mamaların bileşimi, hayvanın yaşına uygun, eksiksiz ve dengeli beslenme sağlamalıdır. Gelecekteki çalışmalar, yalnızca benzer ham maddeler ve eşdeğer gıda bileşenleri kullanılarak işleme yöntemlerini karşılaştırmalı ve vücut ağırlığı, metabolik sağlık, mikrobiyom, gıda güvenliği ve raf ömrü gibi sonuçları kapsamlı bir şekilde değerlendirmelidir (Do ve ark., 2021; Geary ve ark., 2022; Geary ve ark., 2024; Jobe ve Downs, 2026).

Yaşa ırka özel beslenme sağlayan mamaların geliştirilmesi

Kedi ve köpek mamalarının formüle edilmesinde kullanılan modern yöntemler, basit "yavru-yetişkin-yaşlı" sınıflandırmalarından giderek uzaklaşarak, hayvanın yaşı, yetişkin boyutu, aktivite düzeyi, kısırlaştırma durumu, vücut kondisyonu ve genetik hastalık durumu gibi faktörleri tam olarak dikkate alan daha karmaşık formüllere kaymaktadır. Irka özgü beslenme kavramı, öncelikle belirli ırk isimlerinden ziyade, boyut sınıflandırmalarına (küçük, orta, büyük ve dev ırklar), yaşam süresindeki farklılıklara ve ırklarla ilişkili sağlık risklerine dayanmaktadır. Mevcut bilimsel kanıtlar yaşam evresi ve boyuta dayalı beslenmeyi güçlü bir şekilde desteklese de, ırka özgü diyetlerin tek başına üstünlüğüne dair doğrudan klinik kanıtlar nispeten sınırlıdır (Birmingham ve ark., 2024; McGrath ve ark., 2023).

Yavru kedi mamalarının temel amacı, hızlı büyüme dönemlerinde yeterli enerji, yüksek oranda sindirilebilir protein, temel amino asitler, yağ asitleri, vitaminler ve mineraller sağlamaktır. Büyük ve dev ırk yavrularında kontrolsüz enerji alımı ve kalsiyum-fosfor dengesizliği kemik gelişimini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, büyüme hızını kontrol etmek çok önemlidir. Küçük mide kapasiteleri nedeniyle, küçük yavru köpekler, beslenme ihtiyaçlarını daha küçük porsiyonlarda karşılamak için daha yüksek besin madde yoğunluğuna sahip mamalara ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle, aynı "yavru köpek maması" tüm köpek boyutları için uygun değildir. Beslenme planlamasında hedef ağırlıklar ve yetişkin büyüme eğrileri önemli faktörlerdir. Farklı yaşam evrelerine göre uyarlanmış köpek mamaları, yalnızca temel besin maddelerini değil, aynı zamanda bağırsak ve bağışıklık sistemlerinin gelişimini destekleyen fonksiyonel bileşenleri de içerir. McGrath ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, 4-10 aylık yavru köpeklere prebiyotik lif karışımı içeren bir beslenme formülü verilmiştir. Çalışma, yavru köpeklerin normal büyüme ve gelişme gösterdiğini, dışkı özelliklerinin iyileştiğini ve kısa zincirli yağ asidi üretiminin arttığını göstermiştir. Bu, McGrath

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ve ark., (2025) tarafından yayınlanan başka bir çalışma ile de benzer şekilde doğrulanmıştır. 2025 yılında yapılan bir çalışma, çözünür lif, çözünmez lif ve lifle ilgili polifenoller içeren yavru köpek mamasının yavru köpeklerde normal büyümeyi desteklediğini bulmuştur. Bu çalışmalar, yavru köpek mamasının artık sadece büyümeyi teşvik etmek için enerji ve protein sağlayan bir ürün olmadığını, erken dönem bağırsak mikrobiyotasının gelişimini destekleyen fonksiyonel bir formül olduğunu göstermektedir (McGrath ve ark., 2024; McGrath ve ark., 2025).

Farklı vücut büyüklüklerine göre uyarlanmış köpek mamaları geliştirilirken enerji gereksinimleri önemli bir araştırma alanıdır. Küçük ırklar üzerinde yapılan uzun vadeli çalışmalar, metabolik olarak düzenlenmiş enerji alımlarının orta ve büyük ırklara göre daha yüksek olduğunu ve küçük ırklar arasında enerji gereksinimlerinde önemli bireysel farklılıklar olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, yem alımının yalnızca vücut ağırlığına göre hesaplanmasının yetersiz olabileceğini; vücut büyüklüğü, aktivite düzeyi, yaş ve bireysel metabolizma gibi faktörlerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (McGrath ve ark., 2023).

Yaşlı kedi ve köpek mamalarında odak noktası, tek bir "yaşlı" formülü kullanmak yerine, yaşlanmanın bireysel özelliklerine göre uyarlanmış beslenme programları olmalıdır. Köpeklerde yaşlanmanın başlangıcı boyuta bağlıdır; yaşlanma belirtileri daha büyük ırklarda daha erken, daha küçük ırklarda ise daha geç ortaya çıkabilir. Kedilerde yağ ve proteinleri sindirme ve kullanma yeteneğindeki değişiklikler yaklaşık sekiz yaşında başlayabilir. Yaşlı hayvanların enerji ihtiyaçları azalmış olsa da, kronik hastalıkları, iştahsızlığı veya kas kaybı olanlarda enerji ve yüksek kaliteli protein ihtiyacı artabilir. Bu nedenle, yaşlı evcil hayvan mamalarındaki enerji yoğunluğu, sindirilebilir protein, lif, omega-3 yağ asitleri, antioksidanlar, orta zincirli trigliseritler ve bilişsel destek bileşenleri, bireyin sağlık durumuna göre uyarlanmalıdır (Bermingham ve ark., 2024). Yaşlı köpekler için mama seçerken, sadece hayvanın yaşı değil, aynı zamanda kas kütlesi, vücut kondisyonu, böbrek ve kalp sağlığı, aktivite düzeyi ve günlük enerji gereksinimleri de dikkate alınmalıdır (German ve ark., 2025).

En son bilimsel gelişmelerden biri, farklı yaş ve ırklardaki köpekler için kişiselleştirilmiş mamalar oluşturmak amacıyla yapay zeka ve matematiksel optimizasyon yöntemlerinin kullanılmasıdır. Kalykulova ve ark., 2026 yılında geliştirilen bir sistem, ham maddelerin besin değerini, 482 köpek ırkı hakkındaki bilgileri, 147 genetik hastalık ile 151 köpek ırkı arasındaki korelasyonları ve 330 veteriner reçeteli diyetin özelliklerini bir araya getirdi. Makine öğrenimi, doğru bileşenleri belirlemek için kullanıldı ve doğrusal programlama, yaş, vücut büyüklüğü, aktivite düzeyi, gebelik, emzirme ve sağlık gibi faktörleri dikkate alarak besin değerini optimize etti. Bu yaklaşım, küçük, orta ve büyük köpekler için standartlaştırılmış diyetlerden, her hayvan için enerji ve beslenme hedeflerini bireyselleştiren hassas besleme sistemlerine geçmenin mümkün olduğunu göstermektedir (Kalykulova ve ark., 2026).

Gelecekteki çalışmaların, yalnızca ırka dayalı ürünleri değil, aynı zamanda genetik yatkınlık, metabolik fenotip, aktivite düzeyi, vücut kompozisyonu ve bağırsak mikrobiyotası verilerine dayalı kişiselleştirilmiş ürünleri de değerlendirmesi beklenmektedir. Özellikle kedilerin ırka özgü ihtiyaçları, yaşlı hayvanlar için standartlaştırılmış mama içerikleri ve yapay zekâ kullanılarak oluşturulan formüllerin uzun vadeli güvenliği konularında daha fazla kontrollü çalışmaya ihtiyaç vardır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Hastalığa özel terapötik mamaların geliştirilmesi

Kedilerde ve köpeklerde hastalıkların tedavisinde kullanılan özel ilaçlı mamaların geliştirilmesi, beslenmenin artık sadece yardımcı bir unsur olmaktan çıkıp hastalık yönetiminin temel bir parçası haline gelmesinin önünü açmıştırr. Bu mamaların temel amacı, hayvanların günlük enerji ve besin ihtiyaçlarını karşılamanın yanı sıra, hastalığın seyrini etkileyen metabolik yolları düzenlemek, klinik semptomları hafifletmek, komplikasyonları önlemek ve yaşam kalitesini iyileştirmektir. Bu nedenle, terapötik formülasyonlar hastalığın patofizyolojik mekanizmalarına bağlı olarak farklılaştırılır. Böbrek hastalıklarının tedavisinde fosfor ve mineral dengesi önemlidir; sindirim bozukluklarının tedavisinde protein yapısı ve sindirilebilirliği; obezite tedavisinde enerji yoğunluğu ve kas kütlesinin korunması; ve idrar yolu hastalıklarının tedavisinde idrar pH'sı ve mineral aşırı doygunluğu önemlidir (Pan ve ark., 2023; Ramalingum ve Mahomoodally, 2014; Coyne ve ark, 2026).

Çalışmalar, kronik böbrek hastalığının erken evrelerinde kullanılan ilaçlı mamaların hastalığın ilerlemesini yavaşlatabileceğini ve hayatta kalma oranlarını artırabileceğini göstermektedir. Kronik bağırsak hastalıkları ve mama kaynaklı olumsuz reaksiyonlar için, hidrolize veya elemental proteinler bağışıklık sistemindeki antijenik yükü azaltmak üzere tasarlanmıştır. Uygun yağ, lif ve mikro besin oranı ise bağırsak bariyer fonksiyonunu ve genel beslenme durumunu korumaya yardımcı olur. Obeziteyle mücadele etmek için tasarlanmış ürünlerde protein ve mikro besin maddesi yoğunluğunun korunması, enerji kısıtlamasına bağlı kas kaybını önlemek için çok önemlidir. Diüretik ürünler giderek artan bir şekilde sadece idrar hacmini, pH'ı ve tek bir mineralin tüketimini değil, aynı zamanda çeşitli taş oluşumu riskini de düzenleyebilen çok fonksiyonlu ürünler haline gelmektedir (Pan ve ark., 2023; Simpson ve ark., 2023; Toillion ve ark., 2026).

Gelecekte, beslenme terapisi araştırmalarının hastalık kategorilerine dayalı genel formüllerden kişiselleştirilmiş beslenme programlarına doğru ilerlemesi beklenmektedir. Benzer hastalıklara sahip hayvanlar bile yaş, cinsiyet, vücut durumu, eşlik eden hastalıklar, bağırsak mikrobiyota bileşimi ve metabolik yanıtlar açısından önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle, yeni çalışmalar kan ve idrar biyobelirteçlerini, metabolomik ve bağırsak mikrobiyota analizlerini, ayrıca beslenme anındaki aktivite ve mamanın formüle edilme süreci hakkında bilgileri içermelidir. Böbrek hastalığı ve kas güçsüzlüğü, obezite ve artrit gibi rahatsızlıkların yanı sıra kronik bağırsak hastalıkları ve gıda alerjileri olan hayvanlar için çok fonksiyonlu tedavi edici diyetlerin geliştirilmesi de önemli bir araştırma alanıdır. Dahası, yeni bir ürünün başarısı yalnızca laboratuar içerik verilerine veya kısa süreli sindirim çalışmalarına dayanarak değerlendirilmemelidir. Hastalığın ilerlemesi, yaşam beklentisi, ilaç gereksinimleri, vücut kompozisyonu, yaşam kalitesi, lezzet ve hayvanın diyete uyum gibi klinik sonuçlar, bağımsız uzun vadeli çalışmalarla değerlendirilmelidir. Özellikle yavrular, yaşlı hayvanlar ve birden fazla tıbbi rahatsızlığı olan bireyler için mevcut veriler sınırlıdır. Gelecekte, tedavi edici yemler tek bir besin maddesinin eklenmesi veya çıkarılmasıyla değil, aynı anda belirli biyolojik hastalık hedeflerini hedefleyen karmaşık formülasyonlar olarak geliştirilmeli ve klinik etkinlikleri kontrollü çalışmalarla doğrulanmalıdır (Pan ve ark., 2023; Tinsley ve ark., 2024).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Sürdürülebilir mama üretiminin sağlanması

Sürdürülebilir köpek ve kedi maması üretimi, hammadde seçiminden üretim sırasındaki enerji tüketimine, ambalajlamaya, taşımaya ve atık bertarafına kadar tüm ürün yaşam döngüsünü kapsayan çok boyutlu bir yaklaşım gerektirir. Mevcut araştırmalar, evcil hayvan maması üretiminin çevresel etkisinin, kullanılan hayvansal kaynaklı bileşenlerin miktarı ve kalitesiyle yakından bağlantılı olduğunu göstermektedir. İnsan tüketimine uygun yüksek kaliteli etin yüksek oranda kullanılması, evcil hayvan maması ile insan gıda üretim sistemi arasında rekabeti artırarak sera gazı emisyonları, arazi kullanımı ve su tüketimi açısından daha büyük çevresel etkilere yol açabilir. Aslında, ticari olarak satılan köpek mamaları arasında sera gazı emisyonları 65 kattan fazla farklılık göstermekte olup, "premium", "yüksek etli" veya "doğal" olarak pazarlanan ürünlerin her zaman daha çevre dostu olmadığını göstermektedir. Bu nedenle, sürdürülebilirliği değerlendirirken ham protein içeriğine ek olarak protein kaynakları, üretim sistemleri ve beslenme gereksinimleri de dikkate alınmalıdır (Harvey ve ark., 2026).

Yem endüstrisindeki atıkları azaltmanın en önemli yollarından biri, insan gıda zincirine girmeyen ancak besin değerlerini koruyan yan ürünlerin güvenli bir şekilde kullanılmasıdır. Et ve balık işleme yan ürünleri, tahıl işleme atıkları ve gıda sistemlerinden elde edilen benzer malzemelerin protein, yağ veya lif kaynaklarına dönüştürülmesiyle hammadde talebi azaltılabilir. Ancak bu malzemelerin kullanımı mikrobiyolojik ve kimyasal güvenlik, izlenebilirlik, besin değeri ve lezzet standardizasyonu açısından gerekçelendirilmelidir. Üretim tesislerinde enerji ve su tüketiminin azaltılması, proses ısısının geri kazanılması, üretim atıklarının geri dönüştürülmesi ve talebe göre üretim planlaması da gereksiz yem üretimini önlemeye yardımcı olan önlemlerdir (Repassi ve Keller, 2024).

Çevre dostu ambalaj tasarlarken, sadece kullanılan plastik miktarını azaltmak veya ambalajı "biyolojik olarak parçalanabilir" olarak etiketlemek yeterli değildir. Ambalaj, yem yağlarını oksidasyondan, nemden, oksijenden ve mikrobiyal kontaminasyondan korumalıdır. Ayrıca ürünün raf ömrünü ve besin değerini de korumalıdır. Kötü sızdırmazlık özelliklerine sahip ambalajlar, yem atığını artırabilir ve kullanılan ambalaj malzemesinden daha büyük bir çevresel etkiye sahip olabilir. Bu nedenle, geri dönüştürülebilir, tek malzemeli tasarımlar, yeniden doldurulabilir sistemler, azaltılmış ambalaj ağırlığı ve uygun porsiyon boyutları önemlidir. Ürün kaybı ve nakliyenin etkisini değerlendirmek için yaşam döngüsü yaklaşımı kullanılmalıdır. Evcil hayvan maması sektöründeki güncel eğilimler de geri dönüştürülebilir ambalajlara, minimalist tasarıma ve enerji verimli üretim yöntemlerine doğru kaymaktadır (Knight, 2023; Harvey ve ark., 2026).

Bitkisel ve vegan beslenme biçimleri, hayvansal içeriklere olan bağımlılığı azaltan en sürdürülebilir çevresel seçenekler arasındadır. Yaşam döngüsü çalışmaları, vegan köpek mamalarının et bazlı beslenme biçimlerine kıyasla iklim değişikliği, asitlenme ve duman kirliliği üzerindeki etkisini azaltabileceğini göstermiştir. Aynı formülasyonun arazi kullanımını ve ötrofikasyonu artırabileceği yönünde iddalar de bulunmaktadır; bu da bitkisel beslenme biçimlerinin tüm çevresel kategorilerde otomatik olarak üstün olarak değerlendirilmemesi gerektiğini göstermektedir. Soya fasulyesi, bezelye, mercimek veya diğer bitkisel içeriklerin yetiştirildiği alan, sulama ihtiyaçları, gübre kullanımı, verim, işleme yoğunluğu ve taşıma mesafesi sonuçları önemli ölçüde etkileyebilir. Bu nedenle, çevresel faydalar, ürün etiketleri

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

aracılığıyla değil, ürünün bireysel düzeyinde yaşam döngüsü değerlendirmeleri yoluyla gösterilmelidir (Jarosch ve ark., 2024).

Beslenme açısından dengeli bir vegan beslenme biçimine büyük ölçekli bir geçişin, kullanılan kara ve su hayvanlarının sayısını, sera gazı emisyonlarını ve doğal kaynak tüketimini önemli ölçüde azaltabileceği tahmin edilmektedir. Ancak, her yıl milyarlarca hayvanın hayatını kurtarma potansiyelini gösteren sonuçlar, kontrollü besleme deneylerinden ziyade, küresel nüfus ve tüketim verilerini dikkate alan simüle edilmiş senaryolara dayanmaktadır. Bu nedenle, bu tahminler vegan bir diyetin potansiyel etik ve çevresel etkilerini göstermekte olup, tüm köpek ve kedilerin vegan bir diyete geçirilmesi için doğrudan klinik bir öneri teşkil etmemektedir. Ayrıca, hayvansal gıda yan ürünlerinin diğer kullanımlarının varlığı ve çevresel yükün bu ürünler arasında dağılımı gibi metodolojik kararlar, hesaplanan faydaların büyüklüğünü etkileyebilir (Knight, 2023).

Güncel sistematik incelemeler vegan diyetlerin zararlı olduğuna dair kesin bir kanıt bulunmadığını gösterse de, çalışmaların sayısı, süresi ve metodolojik kalitesi, güvenlikleri hakkında kesin sonuçlar çıkarmak için hala yetersizdir. Bu nedenle, yeni ürünlerin geliştirilmesi, laboratuvar besin madde analizi, besleme denemeleri, amino asit sindirilebilirliği ve biyoyararlanım çalışmaları ve uzun vadeli klinik izlemeyi birleştirmelidir (Domínguez-Oliva ve ark., 2023).

Dijital takip destekli beslenme etkinliğinin araştırılması

Dijital beslenme izleme sistemleri, evde yaşayan kedi ve köpeklerin enerji alımını, aktivite seviyelerini ve kilo değişimlerini sürekli olarak izleyerek geleneksel besleme yöntemlerinin sınırlamalarının üstesinden gelmek üzere tasarlanmıştır. Evcil hayvan sağlığı teknolojisi ekosistemi, dijital tartılar, yiyecek alımını ölçen akıllı mama kapları, mikroçip veya görüntü tanıma özelliklerine sahip otomatik besleyiciler, giyilebilir aktivite monitörleri, kameralar ve mobil uygulamaları içerir. Bu sistemler, beslenme zamanları, yiyecek alımı, aktivite seviyeleri, vücut ağırlığı ve beslenme planına uyum gibi verilerin düzenli olarak izlenmesine olanak tanır. Özellikle birden fazla hayvanın bulunduğu evlerde, her hayvan için yiyecek alımının bireyselleştirilmesi önemli faydalar sağlar, çünkü doğru hayvanın doğru diyetle beslenmesini sağlar ve hayvanlar arasında rekabeti önler (Hadar vd., 2022; Wetzel-Rollins vd., 2022). Bağımsız beslenmeye olanak tanıyan dijital tartılar ve akıllı mama kapları gibi teknolojiler, doğrudan kilo yönetimi için kullanılabilir. Düzenli ev tartım, erken kilo alımını veya hızlı kilo kaybını tespit etmeye yardımcı olabilir. Akıllı mama kabı ile, evcil hayvanınızın yediği ve yemediği mama miktarını ölçerek gerçek enerji alımını daha doğru bir şekilde tahmin edebilir. Birden fazla kedinin bulunduğu evlerde yapılan bir araştırma, dijital tartılar, mikroçip takılı mama kapları, aktivite monitörleri ve kameralar gibi yardımcı teknoloji çözümlerinin evcil hayvanların kilo vermesine yardımcı olabileceğini ortaya koymuştur (Hadar vd., 2022). Benzer şekilde, araştırmalar, bireysel besleyicilerin kedilerin ideal vücut ağırlıklarına ulaşma olasılığını artırabileceğini ve bazı yeme alışkanlıklarını azaltabileceğini göstermektedir. Sadece beslenme sıklığını artırmak, kilo verme oranını önemli ölçüde değiştirmez. Bu, bu sistemlerin temel faydalarının, artan beslenmeden ziyade hassas porsiyon kontrolü, kişiselleştirilmiş erişim ve evcil hayvan sahibinin sisteme uyumu ile ilgili olduğunu göstermektedir (Witzel-Rollins vd., 2022).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Giyilebilir aktivite takip cihazlarından elde edilen verilerin beslenme düzenlerine entegre edilmesi, günlük enerji ihtiyaçlarını kişiselleştirmenin yeni bir yolunu sunmaktadır. Geleneksel enerji hesaplama formülleri, hayvanın yaşını, dinlenme durumunu, aktivite seviyesini, çevresel koşulları ve aynı ağırlıktaki hayvanlar arasındaki metabolik farklılıkları doğru bir şekilde yansıtmayabilir. Aktivite sensörlerinden elde edilen verileri ağırlık ve vücut kondisyonu verileriyle birleştirmek, düzenli olarak mama alımını yeniden hesaplayan dinamik beslenme programları oluşturmanıza olanak tanır. Yetişkin köpekler üzerinde yapılan bir pilot çalışma, giyilebilir cihazlardan elde edilen aktivite verilerine dayalı olarak enerji alımı önerilerinin haftalık olarak güncellenmesinin, önerilen ve gerçek enerji alımı arasındaki uyumu artırabileceğini göstermiştir (Sacoor vd., 2026).

Ancak, bir aktivite monitörünün "kalori yakımı" veya "günlük enerji ihtiyacı" hesaplamasının doğruluğu cihazdan cihaza değişebilir. Ticari olarak temin edilebilen giyilebilir bir sağlık monitörünü değerlendiren bir çalışma, cihazın çoğu köpeğin enerji ihtiyacını abarttığını ve cihaz tarafından hesaplanan değer ile sabit bir vücut ağırlığını korumak için gereken gerçek enerji harcaması arasında büyük bir tutarsızlık olduğunu bulmuştur (Sekhar vd., 2024). Bu nedenle, aktivite izleme verileri tek başına yem miktarlarını belirlemek için kullanılmamalıdır. Bunun yerine, periyodik tartım, vücut kondisyonu değerlendirmesi, kas kondisyonu, gerçek yem alımı ve hayvanın kondison değerlendirmesi ile birlikte yorumlanmalıdır. Kameralar ve yapay zekâ ile donatılmış akıllı mama kapları, hayvanların yüz veya vücut özelliklerini tanıyarak bireysel beslenmeyi ve beslenme davranışını görsel olarak izleyebilir. Prototip sistem, yaklaşan hayvanları tespit etmek ve önceden belirlenmiş miktarda yemi otomatik olarak dağıtmak için bir ağırlık sensörü, kamera, yakınlık sensörü ve otomatik besleyiciyi birleştirir. Gelecekte, bu sistemlerin hayvanların doğal beslenme alışkanlıklarını öğrenmesi ve öğün atlama, iştah azalması, sık sık mama kabına gitme, besin alımında değişiklikler ve gece beslenmesinde artış gibi davranış kalıplarını belirlemesi beklenmektedir. Bu, obezite, gastrointestinal hastalıklar, diyabet, ağrı ve yaşa bağlı iştah değişikliklerinin erken teşhisine yol açabilir. Mevcut araştırmaların çoğu hala prototip aşamasındadır (Castillo-Arceo vd., 2024).

Dijital besleme teknolojileri, kedilerin ve yavru kedilerin büyüme ve gelişimini izlemek için de büyük bir potansiyele sahiptir. Bu sistemler, haftalık büyüme hızı, beklenen ağırlık, vücut kondisyonu, aktivite düzeyi ve gerçek enerji alımının kapsamlı bir değerlendirmesini sağlamak üzere tasarlanmıştır. Yalnızca vücut ağırlığına bağlı olarak beslenmeyi otomatik olarak artırmak, özellikle hızlı büyüyen, büyük ırk yavru kedilerde aşırı enerji alımına neden olabilir. Bu nedenle, algoritma büyüme eğrileri, vücut kondisyonu ve kas kazanımı gibi göstergeleri içermelidir. Benzer şekilde, yaşlı ve kronik hastalığı olan hayvanlarda, elektronik tartım verileri tek başına vücut ağırlığındaki değişikliklerin yağ kaybı, kas kaybı veya sıvı tutulumundan kaynaklanıp kaynaklanmadığını belirleyemez (Hadar vd., 2022; Sekhar vd., 2024; Sacoor vd., 2026).

Gelecekteki çalışmalar, farklı cihazların ölçüm doğruluğunu standartlaştırmalı, elde edilen verileri tek bir dijital platforma entegre etmeli ve özellikle genç, yaşlı, obez ve kronik hastalığı olan hayvanlarda uzun vadeli klinik sonuçları değerlendirmelidir. Ayrıca, veri güvenliği, algoritma yorumlaması, ekipman maliyetleri ve hayvan sahipleri tarafından sistemin

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

günlük kullanımı, bu teknolojilerin beslenme uzmanları tarafından günlük hayvan beslenme uygulamalarında benimsenip benimsenmeyeceğini belirlemede kilit faktörler olacaktır.

Kaynaklar:

Akintan, O., Gebremedhin, K. G., & Uyeh, D. D. (2024). Animal feed formulation—Connecting technologies to build a resilient and sustainable system. *Animals*, *14*(10), 1497.

Anukiruthika, T., Sethupathy, P., Wilson, A., Kashampur, K., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020). Multilayer packaging: Advances in preparation techniques and emerging food applications. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, *19*(3), 1156-1186.

Banton, S., Baynham, A., Pezzali, J. G., von Massow, M., & Shoveller, A. K. (2021). Grains on the brain: A survey of dog owner purchasing habits related to grain-free dry dog foods. *PloS one*, *16*(5), e0250806.

Banton, S., Pezzali, J. G., Richards, T., Hillyer, L. M., Ma, D. W., Pisco, J. M., ... & Shoveller, A. K. (2025). Feeding of a high protein, low carbohydrate diet leads to greater postprandial energy expenditure and fasted n6: n3 fatty acid ratio in lean, adult dogs compared to a moderate protein, moderate carbohydrate diet. *Translational Animal Science*, *9*, txaf018.

Belchik, S. E., Oba, P. M., Wyss, R., Asare, P. T., Vidal, S., Miao, Y., ... & Swanson, K. S. (2023). Effects of a milk oligosaccharide biosimilar on fecal characteristics, microbiota, and bile acid, calprotectin, and immunoglobulin concentrations of healthy adult dogs treated with metronidazole. *Journal of animal science*, *101*, skad011.

Bermingham, E. N., Patterson, K. A., Shoveller, A. K., Fraser, K., Butowski, C. F., & Thomas, D. G. (2024). Nutritional needs and health outcomes of ageing cats and dogs: is it time for updated nutrient guidelines?. *Animal Frontiers*, *14*(3), 5-16.

Bradshaw, J. S. (1991). Sensory and experiential factors in the design of foods for domestic dogs and cats. *Proceedings of the Nutrition Society*, *50*(1), 99-106.

Cabrita, A. R., Maia, M. R., Alves, A. P., Aires, T., Rosa, A., Almeida, A., ... & Fonseca, A. J. (2024). Protein hydrolysate and oil from fish waste reveal potential as dog food ingredients. *Frontiers in Veterinary Science*, *11*, 1372023.

Calderón, N., White, B. L., & Seo, H. S. (2024). Measuring palatability of pet food products: Sensory components, evaluations, challenges, and opportunities. *Journal of food science*, *89*(12), 8175-8196.

Castillo-Arceo, O. E., Renteria-Flores, R. U., & Santana-Mancilla, P. C. (2024). Design and Development of a Smart Pet Feeder with IoT and Deep Learning. *Engineering Proceedings*, *82*(1), 63.

Corbee, R. J. (2024). The effects of galacto-oligosaccharides on faecal parameters in healthy dogs and cats. *Research in Veterinary Science*, *167*, 105116.

Coyne, M., Szlosek, D., Webeck, J., Feliciano, R., Berger, N., Doukas, J., ... & McCrann, D. J. (2026). Use of a veterinary therapeutic renal diet in cats with early chronic kidney disease is associated with slower disease progression and improved survival. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *1*(aop), 1-9.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Di Cerbo, A., Morales-Medina, J. C., Palmieri, B., Pezzuto, F., Cocco, R., Flores, G., & Iannitti, T. (2017). Functional foods in pet nutrition: Focus on dogs and cats. *Research in veterinary science*, *112*, 161-166.

Do, S., Phungviwatnikul, T., de Godoy, M. R., & Swanson, K. S. (2021). Nutrient digestibility and fecal characteristics, microbiota, and metabolites in dogs fed human-grade foods. *Journal of animal science*, *99*(2), skab028.

Dunham-Cheatham, S. M., Klingler, K., Peacock, M., Teglas, M. B., & Gustin, M. S. (2019). What is in commercial cat and dog food? The case for mercury and ingredient testing. *Science of the Total Environment*, *684*, 276-280.

Geary, E. L., Oba, P. M., Applegate, C. C., Clark, L. V., Fields, C. J., & Swanson, K. S. (2022). Effects of a mildly cooked human-grade dog diet on gene expression, skin and coat health measures, and fecal microbiota of healthy adult dogs. *Journal of animal science*, *100*(10), skac265.

Geary, E. L., Oba, P. M., Templeman, J. R., & Swanson, K. S. (2024). Apparent total tract nutrient digestibility of frozen raw, freeze-dried raw, fresh, and extruded dog foods and their effects on serum metabolites and fecal characteristics, metabolites, and microbiota of healthy adult dogs. *Translational Animal Science*, *8*, txae163.

German, K., Melgoza, C., & Torres-Henderson, C. (2025). Exploratory analysis of nutrient composition of adult and senior dog diets. *Frontiers in Veterinary Science*, *12*, 1717409.

Gramenzi, A., Clerico, L., Belà, B., Di Leonardo, M., Fusaro, I., & Pignataro, G. (2024). Modulation of canine gut microbiota by prebiotic and probiotic supplements: a long-term in vitro study using a novel colonic fermentation model. *Animals*, *14*(22), 3342.

Godfrey, H., Shoveller, A. K., Kelly, J., Kostiuk, D., Saunders Blades, J., & Verbrugghe, A. (2025). Isoenergetic reduction of dietary macronutrients modulates respiratory quotients and heat increment of feeding but not energy expenditure in cats. *Journal of Animal Science*, *103*, skaf081.

Golder, C., Weemhoff, J. L., & Jewell, D. E. (2020). Cats have increased protein digestibility as compared to dogs and improve their ability to absorb protein as dietary protein intake shifts from animal to plant sources. *Animals*, *10*(3), 541.

Hadar, B. N., Lambrecht, K. J., Poljak, Z., Coe, J. B., Stone, E. A., Verbrugghe, A., & Bernardo, T. M. (2022). Technology-enhanced weight-loss program in multiple-cat households: a randomized controlled trial. *Journal of feline medicine and surgery*, *24*(8), 726-738.

Harvey, J. D., Crowley, S. L., Eory, V., & Alexander, P. (2026). Estimating the environmental impact of dog foods marketed in the UK. *Journal of Cleaner Production*, 147277.

Jobe, M. T., & Downs, K. M. (2025). Systematic Review and Meta-Analysis of Quality Claims Associated with Fresh Pet Food: Evaluating Scientific Evidence for Additives, Ingredient Quality, and Effects of Processing in Pet Nutrition. *Animals*, *16*(1), 41.

Jarosch, L., Bach, V., & Finkbeiner, M. (2024). A life cycle assessment of vegan dog food. *Cleaner Environmental Systems*, *14*, 100216.

Kalykulova, A., Bakirov, K., Shoman, A., Makangali, K., & Tokysheva, G. (2026, February). Personalized Canine Diet Generation Using Machine Learning and Constraint Optimization. In *Informatics* (Vol. 13, No. 3, p. 34). MDPI.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Klinmalai, P., Kamonpatana, P., Sodsai, J., Promhuad, K., Srisa, A., Laorenza, Y., ... & Harnkarnsujarit, N. (2025). Modern palatant strategies in dry and wet pet food: Formulation technologies, patent innovations, and market evolution. *Foods*, *14*(16), 2824.

Knight, A. (2023). The relative benefits for environmental sustainability of vegan diets for dogs, cats and people. *Plos one*, *18*(10), e0291791.

Kumar, R., & Sharma, A. (2025). Machine learning in pet food: A comprehensive review of applications, challenges, and future directions.

Kumcu, A., & Woolverton, A. E. (2015). Feeding Fido: Changing consumer food preferences bring pets to the table. *Journal of food products marketing*, *21*(2), 213-230.

Kylkilahti, E., Syrjälä, H., Autio, J., Kuismin, A., & Autio, M. (2016). Understanding co-consumption between consumers and their pets. *International Journal of Consumer Studies*, *40*(1), 125-131.

Le Guillas, G., Vanacker, P., Salles, C., & Labouré, H. (2024). Insights to study, understand and manage extruded dry pet food palatability. *Animals*, *14*(7), 1095.

Lee, A. H. (2022). *Effects of probiotics, prebiotics and dietary fibers on the gastrointestinal health and immune indices of adult dogs and cats* (Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign).

López Martí, Á., Montero Palma, C., López Martí, H., & Ranchal Sánchez, A. (2025). Efficacy of probiotic, prebiotic, synbiotic and postbiotic supplementation on gastrointestinal health in cats: systematic review and meta-analysis. *Journal of Small Animal Practice*, *66*(4), 219-235.

Mccracken, F. B., Skaggs, P. M., Fowler, J. W., Dickerson, S. M., Timlin, C. L., & Coon, C. N. (2026). Effects of coating kibble with chicken fat enriched with free fatty acids on digestibility and palatability in Labrador retrievers. *Translational Animal Science*, *10*, txaf146.

McGrath, A. P., Motsinger, L. A., Brejda, J., & Hancock, L. (2024). Prebiotic fiber blend supports growth and development and favorable digestive health in puppies. *Frontiers in Veterinary Science*, *11*, 1409394.

McGrath, A. P., Faurot, M. L., Stiers, C. A., Brejda, J., & Morris, E. M. (2025). Food supplemented with a novel fiber blend containing soluble and insoluble fiber supported growth and fecal parameters indicative of gastrointestinal health in kittens. *Journal of Animal Science*, *103*, skaf408.

Mioto, J. C., Oba, P. M., Junior, S. M., Adolphe, J. L., Madison, S. D., & de Godoy, M. R. (2026). Incorporating defatted black soldier fly meal (BSFLM) as a functional alternative ingredient in dog food. *Journal of Animal Science*, skaf346.

Nicolas, C. S., Lloret, F., Carton, T., Beuvin, L., & Rème, C. A. (2026). Beneficial effects of a prebiotic-postbiotic supplement on digestive health and fecal microbiota in dogs and cats. *Frontiers in Veterinary Science*, *13*, 1797178.

Nicotra, M., Iannitti, T., & Di Cerbo, A. (2025). Nutraceuticals, Social Interaction, and Psychophysiological Influence on Pet Health and Well-Being: Focus on Dogs and Cats. *Veterinary Sciences*, *12*(10), 964.

Pan, Y., Spears, J. K., Xu, H., & Bhatnagar, S. (2023). Effects of a therapeutic weight loss diet on weight loss and metabolic health in overweight and obese dogs. *Journal of animal science*, *101*, skad183.

Prantil, L. R., Heinze, C. R., & Freeman, L. M. (2018). Comparison of carbohydrate content between grain-containing and grain-free dry cat diets and between reported and calculated carbohydrate values. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, *20*(4), 349-355.

Ramalingum, N., & Mahomoodally, M. F. (2014). The therapeutic potential of medicinal foods. *Advances in Pharmacological and Pharmaceutical Sciences*, *2014*(1), 354264.

Sacoor, C., Domingues, C., Leitão, S., Cabeças, R., & Queiroga, F. L. (2026). Proof of Concept of a Dynamic Energy Prescription Protocol Integrating Wearable Activity Data in 19 Adult Dogs: A Prospective Longitudinal Study. *Veterinary Sciences*, *13*(5), 499.

Samant, S. S., Crandall, P. G., Jarma Arroyo, S. E., & Seo, H. S. (2021). Dry pet food flavor enhancers and their impact on palatability: a review. *Foods*, *10*(11), 2599.

Sekhar, M., Rudinsky, A. J., Cashman, C., Parker, V. J., Kieves, N. R., Howard, J., & Winston, J. (2024). Commercially available wearable health monitor in dogs is unreliable for tracking energy intake and expenditure. *American Journal of Veterinary Research*, *85*(3).

Singh, P., Banton, S., von Massow, M., Peng, Z., Bosch, G., Marinangeli, C. P., & Shoveller, A. K. (2026). Does quantity equal quality? Source of protein influences American dog owner purchasing decisions more than the quantity of protein in the absence of marketing claims. *Journal of Animal Science*, *104*, skag136.

Simpson, K. W., Miller, M. L., Loftus, J. P., Rishniw, M., Frederick, C. E., & Wakshlag, J. J. (2023). Randomized controlled trial of hydrolyzed fish diets in dogs with chronic enteropathy. *Journal of veterinary internal medicine*, *37*(6), 2334-2343.

Tinsley, J., Griffin, C., Sheinberg, G., Griffin, J., Cross, E., Gagné, J., & Romero, A. (2024). An open-label clinical trial to evaluate the efficacy of an elemental diet for the diagnosis of adverse food reactions in dogs. *Veterinary Dermatology*, *35*(1), 40-50.

Toillion, A. R., Gilyot, S., Lulich, J. P., & Furrow, E. (2026). Outcomes of medical dissolution for suspected struvite uroliths in dogs using a therapeutic multipurpose urinary diet and antimicrobial therapy. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, *40*(1), aalaf061.

Watson, P. E., Thomas, D. G., Bermingham, E. N., Schreurs, N. M., & Parker, M. E. (2023). Drivers of palatability for cats and dogs—what it means for pet food development. *Animals*, *13*(7), 1134.

Wei, Y., Xie, L., Muhoza, B., Liu, Q., & Song, S. (2024). Generation of olfactory compounds in cat food attractants: Chicken liver-derived protein hydrolysates and their contribution to enhancing palatability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *72*(28), 15906-15919.

Witzel-Rollins, A., Murphy, M., Springer, C. M., Moyers, T. D., & Albright, J. D. (2022). Evaluation of a pet-separating automatic feeder and high-frequency meal feeding for weight loss in multi-cat households. *Journal of feline medicine and surgery*, *24*(8), e281-e288.

Vinassa, M., Vergnano, D., Valle, E., Giribaldi, M., Nery, J., Prola, L., ... & Schiavone, A. (2020). Profiling Italian cat and dog owners' perceptions of pet food quality traits. *BMC veterinary research*, *16*(1), 131.Vuthisopon, S., Kamonpatana, P., Promhuad, K., Srisa,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

A., Wongphan, P., Seubsai, A., ... & Harnkarnsujarit, N. (2026). Advances in Functional Pet Food Research: Health-Driven Ingredients, Nutritional Targets and Evidence-Based Claims. *Animals*, *16*(8), 1222.

Zhang, J., Ji, Y., Yang, Y., & Wu, Z. (2025a). Grain-Free Diets for Dogs and Cats: An Updated Review Focusing on Nutritional Effects and Health Considerations. *Animals*, *15*(14), 2020.

Zhang, M., Mo, R., Qu, Y., Li, M., Wang, H., Liu, P., ... & Wu, Y. (2025b). Effects of supplemental seaweed extract on antioxidant properties, loose stools, gut microbiota, and its metabolite composition in adult dogs. *Journal of Animal Science*, *103*, skaf149.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

HAYVAN BESLEMEDE YENİ ORTAYA ÇIKAN MİKOTOKSİNLER VE ÇOKLU KONTAMİNASYON RİSKLERİ

Cemal BUDAĞ[1]
Van YYÜ Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü.,
cbudag@yyu.edu.tr ORCİD : 0000-0003-3532-7727

Merve HATİPOĞLU[2]
Van YYÜ Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü,
kylie7evenk7s@gmail.com ORCİD :0009-0008-9808-4308

Özet

Yemdeki mikotoksin kontaminasyonu, çiftlik hayvanlarının beslenmesi, sağlığı, verimliliği ve güvenliği açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Son yıllarda, dikkatler sadece geleneksel olarak düzenlenmiş mikotoksinlere değil, aynı zamanda yeni, gizlenmiş ve modifiye edilmiş mikotoksinlere de odaklanmıştır.

Bu derleme çalışması güncel bilimsel literatür taraması yapılarak hayvan yemlerinde yeni ortaya çıkan mikotoksinleri ele almayı amaçlamıştır.

Analitik tekniklerdeki gelişmeler, özellikle sıvı kromatografi-kütle spektrometrisinin (LC-MS) yaygın kullanımı, tahıllarda, kaba yemlerde, karma yemlerde ve silajda daha geniş bir yelpazedeki mantar ikincil metabolitlerinin tespit edilmesini sağlamıştır. Bununla birlikte, yem kontaminasyonu genellikle tek tek mikotoksinlerle sınırlı değildir; farklı mikotoksinler aynı yem matrisinde bir arada bulunabilir ve katkısal, sinerjik veya antagonistik etkilere sahip olabilir. Bu derleme, hayvan beslenmesinde yeni ortaya çıkan ve çoklu mikotoksin kontaminantlarının önemini değerlendirmektedir. Bu çalışma, yeni mikotoksinlerin, gizlenmiş ve modifiye edilmiş mikotoksinlerin ve *Fusarium* ve *Alternaria* türleri tarafından yem kontaminasyonunun küresel dağılımını ve iklim, coğrafya, yıllık değişkenlik ve yem türünün mikotoksin üretimi üzerindeki etkisini ortaya koyma amacı taşımaktadır. Ayrıca bu çalışma, tahıllarda, yemlerde ve silajda bulunan farklı kontaminasyon risklerini; yeni ortaya çıkan ve birlikte (çoklu) bulunan mikotoksinlerin tek mideli ve geviş getiren hayvanlarda hayvan performansı, üretim verimliliği, bağışıklık sistemi, bağırsak sağlığı, üreme ve organ sistemleri üzerindeki potansiyel etkisini incelemektedir.

Mevcut düzenleyici sistem öncelikle birkaç bilinen mikotoksine odaklanmaktadır; ortaya çıkan mikotoksinler, varyantları ve farklı maruz kalma koşulları risk değerlendirmelerinde yeterince yansıtılmamaktadır. Bu durum, yem güvenliği ve risk yönetimi uygulamalarında önemli boşluklara yol açmaktadır. Bu nedenle, düzenli izleme, gelişmiş analitik yöntemlerin kullanımı, iyi tarım ve depolama uygulamalarına uyum, riske dayalı diyet formülasyonu ve uygun detoksifikasyon takviyelerinin kullanımı da dahil olmak üzere kapsamlı bir azaltma stratejisi gereklidir.

Sonuç olarak, yeni ortaya çıkan ve karmaşık mikotoksin kontaminasyonu, hayvan yemlerinde dinamik ve karmaşık bir risk olarak değerlendirilmelidir; türe özgü risk değerlendirme yöntemleri, güncellenmiş izleme sistemleri ve kapsamlı düzenleyici önlemler geliştirilmelidir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Anahtar kelimeler: Hayvan besleme, yeni ortaya çıkan mikotoksinler, mikotoksinlerin çoklu kontaminasyonu

EMERGİNG MYCOTOXİNS AND MULTİPLE CONTAMİNATİON RİSKS İN ANİMAL NUTRİTİON

Abstract

Mycotoxin contamination in feed poses serious risks to the nutrition, health, productivity, and safety of farm animals. In recent years, attention has focused not only on conventionally regulated mycotoxins but also on novel, hidden, and modified mycotoxins. This study aimed to address newly emerging mycotoxins.

Advances in analytical techniques, particularly the widespread use of liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS), have enabled the detection of a wider range of fungal secondary metabolites in cereals, roughages, compound feeds, and silage. However, feed contamination is often not limited to individual mycotoxins; different mycotoxins can coexist in the same feed matrix and have additive, synergistic, or antagonistic effects. This review evaluates the significance of newly emerging and multiple mycotoxin contaminants in animal nutrition. This study aims to reveal the global distribution of novel mycotoxins, latent and modified mycotoxins, and feed contamination by Fusarium and Alternaria species, and the impact of climate, geography, annual variability, and feed type on mycotoxin production. Furthermore, this study examines the different contamination risks found in cereals, feeds, and silage; and the potential impact of emerging and co-occurring mycotoxins on animal performance, production efficiency, immune system, intestinal health, reproduction, and organ systems in monogastric and ruminant animals.

The current regulatory system primarily focuses on a few known mycotoxins; emerging mycotoxins, their variants, and different exposure conditions are not adequately reflected in risk assessments. This leads to significant gaps in feed safety and risk management practices. Therefore, a comprehensive mitigation strategy is needed, including regular monitoring, the use of advanced analytical methods, adherence to good agricultural and storage practices, risk-based dietary formulation, and the use of appropriate detoxification supplements.

In conclusion, emerging and complex mycotoxin contamination should be considered a dynamic and complex risk in animal feed; species-specific risk assessment methods, updated monitoring systems, and comprehensive regulatory measures should be developed.

Keywords: animal nutrition, emerging mycotoxins, multiple mycotoxin contamination

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Giriş

Mikotoksinler, oksidatif stres, protein sentezinin inhibisyonu, DNA hasarı, hücre döngüsü bozulması, apoptoz, bozulmuş bağışıklık yanıtları ve bağırsak bariyer bütünlüğünün bozulması gibi bir dizi birbirine bağlı hücresel ve moleküler mekanizma yoluyla organizmaları etkileyen toksik mantar metabolitleridir. Bu süreçler, özellikle birden fazla mikotoksine maruz kalındığında, birbirini güçlendirebilir ve tek bir toksine maruz kalmaya göre daha ciddi biyolojik sonuçlara yol açabilir. Son çalışmalar, hayvanlarda mikotoksin toksisitesinin öncelikle oksidatif stres, mitokondriyal disfonksiyon, inflamasyon ve doku hasarı ile karakterize karmaşık bir modelde meydana geldiğini göstermektedir (Kolawole vd., 2024).

Aflatoksin B1 (AFB1), okratoksin A (OTA), fumonisin, trikotesenler ve zearalenon (ZEN) gibi başlıca klasik mikotoksinler, etkilerini farklı ancak birbirleriyle ilişkili patofizyolojik yollarla gösterirler. Aflatoksin B1 (AFB1), sitokrom P450 sistemi tarafından aktif epoksit türevine dönüştürülür ve böylece DNA ve karaciğer proteinlerine bağlanır; bu da mutajenite, sitotoksisite, karsinojenite, lipid peroksidasyonu ve hücre döngüsü durmasına yol açar. Okratoksin A (OTA), özellikle böbrek ve karaciğerde mitokondriyal disfonksiyon, oksidatif stres, protein sentezinin inhibisyonu ve bozulmuş DNA onarımı ile ilişkilidir. Fumonisinler, seramid sentazı inhibe ederek sfingolipid metabolizmasını bozar; bu da hücre zarı bütünlüğünü, sinyal iletimini ve homeostazı olumsuz etkiler (Khan vd., 2024; Al-Nasser vd., 2024). Deoksinivalenol (DON) ve T-2 toksini gibi trikotesen toksinleri, ribozomal düzeyde protein sentezini, MAPK yolunu inhibe eder, proinflamatuar sitokin üretimini, apoptozu, bağırsak bariyer hasarını ve bağışıklık disfonksiyonunu uyarır. Östrojenik yapısı nedeniyle zearalenon (ZEN) öncelikle endokrin ve üreme sistemlerini etkiler, ancak oksidatif stres, DNA hasarı, kromozomal anormallikler ve apoptoz yoluyla sitotoksik etkiler de gösterebilir (Lee vd., 2025; El vd., 2025).

Mikotoksin kontaminasyonu, yem bileşenlerinin üretimi, toplanması, işlenmesi ve depolanması sırasında ortaya çıkan önemli bir yem güvenliği sorunudur. Aflatoksin, okratoksin A (OTA), deoksinivalenol (DON), zearalenon (ZEN), fumonisin ve T-2/HT-2 toksini klasik mikotoksinler yanında, analitik yöntemlerin gelişmesiyle birlikte "yeni mikotoksinlerin" önemi giderek daha belirgin hale gelmektedir. *Penicillium, Aspergillus* ve *Pichia shepherd* mantarları tarafından üretilen Fusarium oksitoksin (NIV), enniatin (ENN), bovomazin (BEA), diasetoksifusarium oksitoksin (DAS), fusarium asit (FUS), monorifominum (MON) ve patulin (PAT), yem ve diğer bitkisel ürünlerinde bulunan başlıca yeni ortaya çıkan mikotoksinlerdir (Akinmoladon vd., 2025; Lapris vd., 2024; Kolawole vd., 2024; Weaver vd., 2025). Kolawole vd. (2024), bu toksinlerin dünya çapında tahıllarda ve yemlerde bulunduğunu ve özellikle klasik mikotoksinlerle bir arada bulunduklarında hayvancılık performansına etkilerinin daha önemli olduğunu bildirmiştir.

Yeni ortaya çıkan mikotoksinlere ilişkin artan endişe, büyük ölçüde bunların uzun süredir "önemsiz" veya "az bilinen" kirleticiler olarak kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, daha yeni saha ve deneysel çalışmalar, özellikle NIV, ENN, BEA, DAS, fusarium asidi ve MON gibi yeni *Fusarium* toksinlerinin, klasik *Fusarium* toksinleriyle aynı ham maddelerde, çevresel koşullarda ve mantar ekosistemlerinde bulunduğunu göstermiştir. Bu, yem güvenliğini sağlamak için tek bir toksine odaklanmanın yeterli olmadığını; çoklu maruz kalmaların, kümülatif risklerin ve kronik/subklinik hasarın sonuçlarının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Mihalache vd., 2023; Bondyk, 2024; Kolawole vd., 2024; Perochon vd., 2024). Son yıllarda, buetamisin ve enniatin bileşiklerinin, özellikle bağırsak epitel hücrelerinde iyon dengesizliğine, mitokondriyal strese, artmış membran geçirgenliğine ve apoptoza neden olan sitotoksik etkilere sahip olduğu gösterilmiştir. Ancak, bu bileşiklerin klasik mikotoksinlere kıyasla

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

toksisitesine ilişkin veriler sınırlıdır. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi'nin (EFSA) Botoxam değerlendirmesi, mevcut kanıtların in vivo genotoksisitesini desteklemediğini ortaya koymasına rağmen, hücresel stres mekanizmaları, türler arası duyarlılık, bağırsak fonksiyonu, bağışıklık tepkileri ve metabolik stres üzerindeki etkilerini araştırmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (Bertero vd., EFSA2, 2024; Behr vd., 2025; Behr vd., 2024).

Mikotoksinlerin gerçek ortamdaki etkileri, tek bir toksine bireysel maruz kalmadan ziyade, birden fazla toksine eş zamanlı maruz kalmanın sonucu olarak ortaya çıkan kümülatif hücresel strese bağlıdır. Bu nedenle, mikotoksinlerin toksisitesini değerlendirirken, yalnızca klasik bireysel etki mekanizmalarını değil, aynı zamanda toksinlerin kombinasyonlarından kaynaklanan etkileşimleri de dikkate almak önemlidir (Murtaza vd., 2024; Akinmoladun vd., 2025; Wattanasuntorn vd., 2025).

Literatürde yeni ortaya çıkan mikotoksin kavramının durumu ve analitik gelişmelerle ilişkisi

Literatürde yeni mikotoksinlerin ortaya çıkışı, analitik yöntemlerin gelişimiyle yakından bağlantılıdır. Özellikle, polimikotoksinlerin analizi için sıvı kromatografi-tandem kütle spektrometrisi (LC-MS/MS) tabanlı yöntemlerin yaygın olarak uygulanması, daha önce rutin izleme prosedürlerine veya rutin araştırma programlarına dahil edilmeyen birçok bileşiğin tespit edilmesini sağlamaktadır. Kolawole vd. (2024), yeni mikotoksinler hakkındaki yayın sayısının son 10-15 yılda önemli ölçüde arttığını göstermiştir; bu artış, yalnızca akademik camianın ilgisini değil, aynı zamanda yem güvenliği alanındaki artan riskleri de yansıtmaktadır. Bununla birlikte, mevcut veri tabanı eksik ve heterojen kalmaktadır (Mihalache vd., 2023; Kolawole vd., 2024; Lapris vd., 2023; Akinmoladun vd., 2025). Geleneksel toksinlerle karşılaştırıldığında, bu toksinleri "yeni" yerine "yeni önemli", "rutin analiz dışında elde edilen" veya "yeni keşfedilen" olarak değerlendirmek daha uygun görünmektedir. Bunun nedeni, bu toksinlerin çoğunun yeni sentezlenmiş kimyasal yapılar olmaması, aksine daha önce çeşitli derecelerde gözlemlenmiş mantarların doğal metabolitleri olmasıdır. Analitik yeteneklerin gelişmesiyle birlikte, bu bileşiklerin tahıllarda, yan ürünlerde, silajda ve yemlerde gerçek varlığı giderek daha net hale gelmektedir (Mihalache vd., 2025). Hasuda ve Brakarins (2024), bovidiasin ve enniasinin çeşitli hücre modellerinde özellikle sitotoksisite, oksidatif stres, apoptoz ve immünomodülatör etkilerle ilişkili olduğunu bildirmiştir; ancak, sınırlı in vivo veriler, düzenleyici eşiklerin belirlenmesini zorlaştırmaktadır.

Çizelge 1. *Fusarium* kaynaklı yeni ortaya çıkan mikotoksin ve sekonder metabolitleri*

Grup	Toksin adları
Enniatinler	Enniatin A, Enniatin A1, Enniatin B, Enniatin B1, Enniatin B2, Enniatin B3
Siklik depsipeptidler	Beauvericin
Diğer sık bildirilenler	Moniliformin, Fusaproliferin, Fusaric acid, Aurofusarin, Rubrofusarin
Culmorin türevleri	Culmorin, 5-hydroxyculmorin, 15-hydroxyculmorin
Diğer *Fusarium* metabolitleri	Butenolide/Butenolid, Apicidin, Equisetin, Siccanol, Chrysogin/Chrysogine, Antibiotic Y, Fusarin C

* Bu grupta özellikle enniatinler, beauvericin, moniliformin, fusaproliferin, fusaric acid, aurofusarin, culmorin ve butenolide literatürde sık şekilde "emerging" olarak geçer (Jajić ve ark., 2019; De Felice ve ark., 2023; Kleber ve ark., 2023;)Kolawole ve ark., 2024; Hasuda, ve Bracarense, 2024; Xu ve ark., 2024)

Çizelge 2. *Alternaria* kaynaklı yeni ortaya çıkan mikotoksinler*

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Grup	Toksin adları
Dibenzopyrone türevleri	Alternariol, Alternariol monomethyl ether
Tetramik asit türevleri	Tenuazonic acid, Iso-tenuazonic acid
Perylene quinone türevleri	Altertoxin I, Altertoxin II, Altertoxin III
Diğerleri	Tentoxin, Altenuene, Stemphyltoxin III, Alterperylenol, Altersetin, Infectopyron
AAL toksinleri	AAL-toxin TA1, TA2, TB1, TB2 gibi AAL toksinleri

**Alternaria* toksinleri içinde en sık izlenenler tenuazonic acid, alternariol, alternariol monomethyl ether, tentoxin, altenuene, altertoxin I–II, stemphylotoxin III ve alterperylenol olarak bildirilmektedir (Alexander ve ark., 2011; Puntscher ve ark., 2019; EC-European Commission. 2022; Louro ve ark., 2024; Nagda ve Meena, 2024; Zhang ve ark., 2025a; Zhang ve ark., 2025b).

.

Çizelge 3. *Aspergillus* ve *Penicillium* kaynaklı yeni ortaya çıkan toksinler*

Mantar grubu	Toksin adları
Aspergillus	Sterigmatocystin, Emodin, Kojic acid
Penicillium	Mycophenolic acid, Brevianamide F
Diğer/ortak fungal metabolitler	Tryptophol, Cyclo(L-Pro-L-Tyr), Cyclo(L-Pro-L-Val)

*Bu grupta sterigmatocystin, emodin ve mycophenolic acid özellikle klasik emerging listelerde yer alır. Daha geniş metabolit tarama çalışmalarında kojic acid, brevianamide F, tryptophol ve siklik dipeptitler de fungal metabolit olarak raporlanmaktadır Gruber-Dorninger ve ark., 2017; Kolawole ve ark., 2024; Gallo ve ark., 2021; Penagos-Tabares ve ark., 2021).

Çizelge 4. Maskelenmiş / modifiye mikotoksinler*

Ana toksin	Modifiye / maskelenmiş formlar
DON	DON-3-glucoside, DON-3-sulfate, DON-15-sulfate, 3-acetyl-DON, 15-acetyl-DON, de-epoxy-DON
Nivalenol	NIV-3-glucoside
ZEN	ZEN-14-glucoside, ZEN-16-glucoside, ZEN-14-sulfate, α-zearalenol, β-zearalenol, α-zearalenol-glucoside, β-zearalenol-glucoside
T-2 / HT-2	HT-2-glucoside, T-2-glucoside, HT-2-sulfate, 3-acetyl-T-2, 3-acetyl-HT-2
Fumonisinler	Hidden/bound fumonisins, hydrolyzed fumonisin B1, N-acyl fumonisin B1 türevleri
Ochratoxin A	Ochratoxin α, hydroxy-ochratoxin A, ochratoxin A methyl ester
Alternaria toksinleri	AOH-glucoside/sulfate türevleri, AME-glucoside/sulfate türevleri

*Güncel derlemelerde modifiye mycotoxin grubunda özellikle DON-3-glucoside, ZEN-14-sulfate, ZEN-glucoside türevleri, NIV-3-glucoside, T-2/HT-2 glukozitleri ve hidden fumonisins öne çıkar. Bu formlar rutin analizlerde gözden kaçabildiği için toplam maruziyeti olduğundan düşük gösterebilir (Rychlik ve ark., 2014; EFSA, 2014; Freire ve ark., 2018; Pavicich ve ark., 2020; Angioni ve ark., 2022; Nešić ve ark., 2023; Chilenga ve ark., 2025; Stránská 2025).

Yem kontaminasyonunun küresel dağılımı ve doğası

Güncel çalışmalar, ortaya çıkan mikotoksinlere ilişkin verilerin ağırlıklı olarak Avrupa, Asya ve Afrika'dan geldiğini, Kuzey Amerika, Güney Amerika ve Okyanusya'dan ise daha az veri bulunduğunu göstermektedir. Bu, bu toksinlerin yalnızca belirli bölgelerde mevcut olduğu anlamına gelmez, aksine kanıt yoğunluğunun bölgeler arasında değiştiği anlamına gelir. Kolawole vd. (2024), örneklerin ağırlıklı olarak tahıllardan, ardından diğer yemlerden ve silajlardan alındığını; azot oksitlerin (NIV), sikloheksanın (ENN) ve sikloheksanın (BEA) özellikle buğday, arpa, mısır, sorgum ve yulaf gibi yem bitkilerinde belirgin olduğunu bildirmiştir. Sikloheksan grubu için bildirilen yüksek ortalama değerler, bu toksinlerin yalnızca sıklıkla tespit edilmekle kalmayıp aynı zamanda niceliksel olarak da önemli kirleticiler olduğunu göstermektedir. Diğer çalışmalar da bu küresel eğilimi doğrulamaktadır. Weaver vd. (2021), ABD'de mısır tanesi ve mısır silajı örnekleri üzerinde yedi yıllık bir çalışma yürütmüş ve çok sayıda mikotoksinle yaygın kirlenme ve yıllar

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

arasında önemli farklılıklar bulmuştur. Benzer şekilde, Siri Anusorsak vd. (2022)'de benzer sonuçlara varmıştır. Jones ve ark. (2022), Güneydoğu Asya'dan alınan pirinç ve buğday kepeği örneklerinde geleneksel mikotoksinlere ek olarak daha önce gözlemlenmemiş yeni mikotoksinler buldu. Burivin ve enniatinin yaygın olduğunu ve bu toksinlerin genellikle deoksinivalenol (DON) ve zearalenon (ZEN) gibi geleneksel toksinlerle bir arada bulunduğunu bildirdiler. İngiltere'de yapılan bir çalışma, ülkenin gıda ve yemlerinde yüksek düzeyde DON bulunduğunu ortaya koydu (Johns ve ark., 2022). Meta-analiz, mikotoksin konsantrasyonlarının en yüksek olduğu ülkelerin sıralamasında farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Ruanda ve Nijerya, sıcak ve kuru iklimleri nedeniyle en yüksek aflatoksin ve okratoksin konsantrasyonlarına sahipti; Fransa, en yüksek T-2 toksini, HT-2 toksini ve zearalenon konsantrasyonlarına sahipti; Kosta Rika, en yüksek fumonisin konsantrasyonlarına sahipti; ve Danimarka, en yüksek DON konsantrasyonlarına sahipti (Chhaya ve ark., 2024). Bu veriler, mikotoksin riskinin belirli iklim bölgeleriyle sınırlı olmadığını; hem tropikal hem de ılıman iklimlerdeki yem sistemlerinde mikotoksin riskinin yüksek olduğunu göstermektedir (Kolawole vd., 2024).

İklim, coğrafya ve yıllık değişimlerin ortaya çıkan mikotoksinler üzerindeki etkisi

Yeni ortaya çıkan mikotoksin formları statik değildir; iklim değişikliği, yağış düzenleri, hasat zamanı, depolama koşulları ve tarımsal kullanım, dağılımlarını önemli ölçüde etkiler (Radic vd., 2023; Chhaya vd., 2024; Kos vd., 2024). Kolawole vd. (2024), Amerika Birleşik Devletleri'nden alınan mısır ve silaj örneklerinde yüksek düzeyde toksin bulunduğunu bildirmiştir; Sırbistan'da, özellikle sıcak ve yağışlı mevsimlerde, *Fusarium* istilası arttıkça BEA ve MON seviyeleri de artmıştır. Chhaya vd. (2024), toksin seviyelerinin ürün türüne göre değiştiğini ve tıbbi bitkilerin en yüksek T-2/HT-2 konsantrasyonlarını gösterdiğini bildirmiştir. Tespit ve izleme stratejisi, uzun bir süre veya birkaç yıl boyunca kapsamlı ve ülkeler arası izlemeye dayanmalıdır. Sistematik incelemeler ve meta-analizler, hayvan yemlerindeki mikotoksin prevalansının bölgeye, iklime, yem matrisine ve analitik yöntemlere bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Bu nedenle, tek bir bölgeye, mevsime veya yem türüne dayalı risk değerlendirmeleri yetersizdir; farklı yem substratları kullanılarak uzun vadeli, çoklu bölge izleme çalışmaları gereklidir (Chhaya vd., 2024; Dimitrakopoulou vd., 2025). Sırbistan ve Hırvatistan'dan on beş yıllık veriler de örneğin sıcaklık, tortu ve mikotoksin özelliklerine göre dağılım göstermektedir (Kos vd., 2024). Son kanıtlar, bu dağılım modellerinin sadece zamandan değil, aynı zamanda yönetim stratejilerinden, depolama koşullarından ve mantar ekolojisinden de etkilendiğini göstermektedir (Dimitrakopoulou vd., 2025).

Yemlerde çoklu mikotoksinlerin küresel dağılımı

100 ülkeden 74.821 örneğin analiz edildiği bir çalışmada, mikotoksinlerin yemlerde neredeyse her yerde bulunduğu tespit edilmiştir. Her yem maddesi, belirli mantar patojenleri ile belirli bitki konakçıları arasındaki bilinen ilişki nedeniyle farklı bir mikotoksin kontaminasyon modeline sahiptir (Gruber-Dorninger vd., 2019). Saha çalışmaları, çoklu mikotoksin kontaminasyonunun dünya çapında yaygın olduğunu göstermiştir. Kenya'da, test edilen süt ve kümes hayvanı yem örneklerinin %96'sında iki veya daha fazla mikotoksin tespit edilmiştir (Kemboi vd., 2020). Pakistan'da, süt ineklerinden alınan toplam karma rasyon (TMR) örneklerinde ortalama 14 farklı mikotoksin saptanmıştır (Penagos-Tabares vd., 2023). İspanya'da, yem örneklerinin %63,5'inde iki mikotoksin tespit edilmiştir; Çin'de ise bazı yem örneklerinin %96'yı aşan oranda birden fazla mikotoksinle kontamine olduğu bulunmuştur (Tian vd., 2022; Muñoz-Solano ve González-Peñas, 2023). On yılı aşkın bir

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

süre boyunca yürütülen küresel bir çalışma, test edilen örneklerin %64'ünün aynı anda iki veya daha fazla mikotoksin için pozitif sonuç verdiğini ortaya koymuştur (Gruber-Dorninger vd., 2019). Bununla birlikte, birçok çalışma tüm klasik ve yeni ortaya çıkan mikotoksinleri aynı anda analiz etmediğinden, gerçek oran daha yüksek olabilir (Akinmoladun vd., 2025).

Bu durum, belirli bileşiklerin çoklu mikotoksinlerle kontamine olması durumunda özellikle dikkat çekicidir. En yaygın bileşikler arasında deoksinivalenol (DON) + zearalenon (ZEN), DON + fumonisin, ZEN + fumonisin ve aflatoksin B1 (AFB1) + fumonisin yer almaktadır. Bu alandaki bazı çalışmalar, aflatoksin B1 (AFB1), zearalenon (ZEN) ve deoksinivalenolün (DON) sıklıkla birlikte bulunduğunu göstermiştir (Gruber-Dorninger vd., 2019; Yang vd., 2019; Akinmoladun vd., 2025). DON, fumonisin ve ZEN'in birlikte bulunması, bu toksinlerin benzer Fusarium mantarlarıyla en güçlü ilişkisini göstermektedir. İspanya, Çin, Kenya ve Tayvan'dan elde edilen veriler de DON ve ZEN'in en yaygın kombinasyonlar arasında olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, yem örneklerinde yalnızca bir toksinin tespit edilmesi, biyolojik riskin eksik değerlendirilmesine yol açabilir (Muñoz-Solano ve González-Peñas, 2023; Yang vd., 2019; Akinmoladun vd., 2025). İklimin önemli bir belirleyici faktör olması, her bölgenin kendine özgü bir mikotoksin üretim modeline sahip olduğunu ve bunun da yemlerdeki mikotoksin kontaminasyonu açısından kendine özgü zorluklar yarattığını göstermektedir (Gruber-Dorninger et al., 2019).

Yemlerde çoklu mikotoksin dağılımını etkileyen faktörler

Hayvan yemlerinin birden fazla mikotoksinle kontaminasyonu, tek bir toksini değerlendirmekten daha geniş bir yaklaşım gerektiren karmaşık bir risk alanıdır. Son çalışmalar, gerçek dünya üretim koşullarında yemlerin genellikle birden fazla mikotoksin içerdiğini ve tekrarlanan maruz kalmanın oksidatif stres, bağışıklık baskılanması, organ hasarı, üreme fonksiyonunda bozulma, büyüme geriliği, süt ve yumurta üretiminde azalma, ürün kalitesinde düşüş ve ölüm oranında artışla ilişkili olabileceğini göstermiştir (Akinmoladun vd., 2025; Shamugasunda25). Başlıca kontaminasyon faktörleri arasında ürün türü ve kalitesi, sıcaklık, nem, mantar türleri, tarım uygulamaları, zararlılar, ürün koşulları, kurutma verimliliği, depolama altyapısı, taşıma koşulları, iklim değişikliği ve coğrafi farklılıklar yer almaktadır (Gruber-Dorninger vd., 2019; Chhaya vd., 2024; Dimitrakop vd., 2025; Dimitrakop). Benzer şekilde, tahıl bazlı yemlerde birden fazla kirleticinin yaygınlığı, risk değerlendirmelerinde birden fazla maruz kalma faktörünün dikkate alınmasını gerektirir (Palumbo vd., 2020).

Birden fazla mikotoksin sorunu, üretim zincirinin tek bir aşamasındaki hatalardan değil, hasat hazırlığından depolama ve taşımaya kadar farklı aşamalarda birden fazla risk faktörünün birikmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, mevcut düzenlemeler, özellikle AB'de, öncelikle bireysel mikotoksinler için maksimum limitler belirlemeye odaklanmaktadır. Bu, çoklu maruz kalma ve sinerjik toksisite kavramlarının düzenleyici düzeyde yeterince yansıtılmadığını göstermektedir (Vitalini vd., 2026). Ayrıca, her bölgenin farklı mikotoksin üretim modellerine sahip olması nedeniyle, farklı bölgeler benzersiz kirlenme sorunlarıyla karşı karşıyadır (Gruber-Dorninger vd., 2019).

Yeni mikotoksinlere gelince, temel argüman, bu toksinlerin genellikle izole edilmemesi, diğer toksinler ve yaygın mikotoksinlerle birlikte ortaya çıkmasıdır. Kolawole vd. (2024) yılında yapılan bir çalışma, araştırmaların %90'ından fazlasının aynı örnekte iki veya daha fazla yeni mikotoksin tespit ettiğini ortaya koymuştur. Bir çalışma, yirmi dört farklı yeni mikotoksin kombinasyonunu belirleyerek, gerçek etkilerin, bireysel toksinlere dayalı geleneksel toksisite kavramlarından çok daha karmaşık olduğunu göstermiştir (Palumbo vd., 2020). Akinmoladun vd. (2025), çoklu mikotoksin kontaminasyonunun güncel literatürde giderek daha fazla odak noktası olduğunu ve tek bir toksin için toksisite

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

verilerinin, katkısal, sinerjik veya antagonistik etkileri güvenilir bir şekilde tahmin edemediğini doğrulamıştır. Bu nedenle, ortaya çıkan mikotoksinleri değerlendirirken, yalnızca konsantrasyon seviyesini değil, aynı zamanda ilişkili kontaminasyonun doğasını da dikkate almak gerekir. Bir toksinin konsantrasyonu izin verilen sınırın altında olsa bile, aynı yerde başka toksinler mevcutsa biyolojik güvenliği garanti edilemez. Özellikle düşük dozlara tekrar tekrar maruz kalma, subklinik bağırsak hasarı, besin emiliminin azalması, oksidatif stres ve bağışıklık fonksiyonunun bozulması gibi sonuçlara yol açabilir (Akinmoladun vd., 2025; Palumbo vd., 2020).

Tahılların, yemlerin ve silajların farklı tehlikeleri

Literatür, mikotoksinlerin farklı yem matrislerinde eşit olmayan bir şekilde dağıldığını göstermektedir (Gruber-Dorninger vd., 2019). Kolawole vd. (2024), bazı yeni ortaya çıkan mikotoksinlerin tahıllarda yaygın olarak bulunduğunu; bunlardan BEA, MON, NIV ve ENN'nin karışık yemlerde daha yaygın olduğunu, fusarik asit, ENN, NIV ve BEA'nın ise silajda daha yaygın olduğunu bildirmiştir. Bu, aynı analitik yöntemlerin her zaman tüm yem bileşenleri için en uygun olmadığını göstermektedir. Yeni Fusarium toksinleri tahıllarda daha yaygın olsa da, PAT ve STG (Aspergillus/Penicillium) gibi bazı yeni Fusarium dışı toksinler de bazı yemlerde önemli olabilir. Farklı toksin sınıfları, fermantasyon, depolama ve yem karışımı yapısı gibi faktörler nedeniyle silaj ve karışık yemlerde rol oynayabilir (Gallo vd., 2024).

Bu ayrım, özellikle süt sığırı besleme sistemlerinde önemlidir. Çin'de yapılan bir çalışmada, toplam karma rasyon (TMR), silaj, tahıl ve samanda on beş mikotoksinin birlikte kontaminasyonu incelenmiş ve tüm yem gruplarında çoklu mikotoksinlerle yaygın kontaminasyon tespit edilmiştir. Çoğu örnekte toksin seviyeleri düşük olsa da, tek bir örnekte üç veya daha fazla mikotoksinin bulunması yaygındı. Özellikle DON+ZEN, DON+FB1, FB1+ZEN ve OTA+ZEN bileşikleri dikkat çekiciydi. Bu veriler, çoklu mikotoksinlerle birlikte kontaminasyonun istisna değil, karma yem sistemlerinde sıklıkla norm olduğunu göstermektedir (Zhu vd., 2025).

Son çalışmalar ayrıca, kaba yem ve silaj yemlerinde hem klasik hem de yeni mikotoksinlerin dikkate alınması gerektiğini göstermiştir. Bununla birlikte, hayvan yemlerinde mikotoksin birlikte kontaminasyonuna ilişkin mevcut veriler sınırlıdır (Gallo vd., 2024). Tahıl ve ıslak tahıl silajındaki mikotoksin içeriğinin coğrafi kökene bağlı olarak değiştiği ve alternatif yemlerin kontaminasyon riskini artırabileceği bildirilmiştir (Lapris vd., 2025; Rocchetti vd., 2025). Bu nedenle, süt ineklerinin yemleme sistemlerinde mikotoksinlere gerçek maruz kalma, süt sağlığı açısından değerlendirilmesi gereken çok faktörlü, matrise bağlı bir risk alanı olarak ele alınmalıdır (Borowsky vd., 2024; Zhu vd., 2025).

Mikotoksin etkileşim türleri

Birçok mikotoksin olduğundan, etkileşimleri genellikle sinerjik, katkısal veya antagonistik olarak sınıflandırılır. Bununla birlikte, pratikte bu sınıflandırma statik değildir; doza, maruz kalma süresine, hücre tipine, hayvan türüne ve değerlendirilen biyolojik sonuca bağlı olarak değişebilir (Murtaza vd., 2024; Akinmoladun vd., 2025). Sinerjik etkiler, toplam etkinin, bireysel toksinlerin toplam etkilerinin beklenen toplamından daha büyük olduğu bir karışımı ifade eder. Yakın zamanda yapılan bir in vivo çalışma, aflatoksin ve okratoksin A kombinasyonunun hepatotoksisite ve nefrotoksisiteyi artırdığını göstermiştir (Choudhary vd., 2025). Ayrıca, bazı yeni mikotoksinlerin, düşük dozlarda bile klasik toksinlerin etkilerini güçlendirebileceğine dair raporlar bulunmaktadır (de Sá vd., 2024).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Toplayıcı etkiler, karışımın etkisinin, bireysel toksinlerin etkilerinin toplamına yaklaştığı bir durumu ifade eder. Gıda ve yem zincirlerinde yapılan çoklu maruz kalma çalışmaları, birçok mikotoksin kombinasyonunun bu etkiyi gösterdiğini, ancak toplayıcı etkilerin pratikte önemli biyolojik ve ekonomik kayıplara yol açabileceğini göstermiştir (Akinmoladun vd., 2025). Özellikle, üçlü ve karma maruziyetler, toksik yüklerde kademeli bir artışa yol açabilir (Murtaza vd., 2024).

Antagonistik etkiler, bir toksinin diğer bir toksinin etkisini kısmen azalttığı durumu ifade eder. Bununla birlikte, antagonizm mutlak değildir; aynı toksin kombinasyonu düşük dozlarda sinerjik, yüksek dozlarda ise antagonistik bir etkiye sahip olabilir. Zhao ve ark. (2026) tarafından yapılan bir çalışma, aflatoksin B1 (AFB1), deoksinivalenol (DON) ve okratoksin A (OTA) arasındaki etkileşimin hücre hattına ve maruz kalma düzeyine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Benzer şekilde, Gomez-Osorio ve ark. (2024), DON ve fumonisin arasındaki etkileşimin değerlendirilen parametrelere bağlı olarak antagonistik, katkısal veya sinerjik olabileceğini bildirmiştir. Bu nedenle, mikotoksin karışımlarında birden fazla etkileşim türünü kabul etmek gerekir, ancak toksikolojik ortamı da dikkate almak şarttır.

Yeni ortaya çıkan ve çoklu mikotoksinlerin verimlilik ile verim üzerindeki etkisi

Birden fazla mikotoksine maruz kalmanın en ciddi sonuçlarından biri büyüme geriliğidir. Bu durum, yem alımının azalması, besin maddesi tükenmesi, organ hasarı ve metabolik stres ile ilişkilidir. Mevcut çalışmalar, birden fazla mikotoksinle kontaminasyonun sadece canlı ağırlık artışını değil, aynı zamanda yem kullanımını ve genel üretim ekonomisini de etkilediğini göstermektedir. Yeni mikotoksinlerin geleneksel toksinlerle birleştirilmesi bu etkileri daha da kötüleştirebilir ve bazı kombinasyonlar toksisiteyi bile artırabilir (Kolawole vd., 2024; Akinmoladun vd., 2025; Olaru vd., 2025).

Mikotoksin maruziyeti ayrıca süt üretimini ve bileşimini de etkiler. Aflatoksin B1 (AFB1) ve okratoksin A (OTA) kombinasyonunun, gebe domuzlarda üreme parametrelerini (döllenme oranı, gebelik oranı, doğan yavru sayısı ve ölü doğum oranı) azalttığı ve süt bileşimini (süt yağı, süt proteini, laktoz ve toplam kuru madde) olumsuz etkilediği bildirilmiştir. Benzer şekilde, aflatoksin B1 (AFB1) + okratoksin A (OTA) + zearalenon (ZEN) kombinasyonu, süt koyunlarında kuru madde alımını ve süt üretimini azaltır. Süt ineklerinde toplam karma rasyon (TMR), silaj, tahıl ve saman dahil olmak üzere çeşitli yemlerde birden fazla mikotoksinin yaygın olarak bulunması, süt üretimi ve süt bileşimi için önemli bir risk oluşturmaktadır (Akinmoladun vd., 2025; Murtaza vd., 2024; Martins vd., 2024; Zhu vd., 2025).

Tavuklarda, mikotoksinlere tekrarlanan maruz kalma, yumurta üretiminde, büyümede ve genel performansta azalma ile ilişkilidir. Aflatoksin ve fumonisin birlikte bulunduğunda, üretim kayıpları ve sağlık sorunları daha belirgin olabilir. Yumurta tavuklarında, aflatoksin B1 ve fumonisinin, tek başına veya kombinasyon halinde, performans ve sağlık üzerinde olumsuz etkileri olduğu gösterilmiştir. Mevcut çalışmalar, mikotoksinlerin kanatlıiların büyümesi, bağışıklığı ve verimliliği üzerinde çok yönlü etkileri olduğunu da doğrulamaktadır (Ochieng vd., 2025; Olaru vd., 2025; Akinmoladun vd., 2025).

Mikotoksinler sadece verimliliği değil, ürün kalitesini de etkiler. Çalışmalar, karkas ve yün kalitesi üzerinde olumsuz etkileri olduğunu göstermiştir. Mikotoksinlere tekrar tekrar maruz kalmak önemli ekonomik kayıplara neden olabilir. Bu nedenle, mikotoksinler sadece toksikolojik bir sorun değil, aynı zamanda verimlilik ve kalite kaybına doğrudan neden oldukları için bir üretim sorunudur (Akinmoladun vd., 2025).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Bağışıklık sistemi, üreme ve organ hasarı

Karmaşık mikotoksin etkileşimleri, oksidatif strese, mitokondriyal disfonksiyona, inflamatuar sinyallemenin aktivasyonuna ve hücresel savunma sistemlerinin bozulmasına yol açarak, bağışıklık baskılanmasını, üreme fonksiyon bozukluğunu ve organ hasarını daha da kötüleştirebilir. Bazı karmaşık durumlarda, kombine maruziyetler, tekli maruziyetlerden daha şiddetli veya karmaşık toksik etkilere yol açabilir. Domuzlarda, DON ve ZEN'e kombine maruziyetin bağışıklık ve üreme sistemleri üzerinde özellikle önemli etkileri olmuştur. Nitekim, in vitro domuz hücresi modelleri, DON ve ZEN'in B hücresi proliferasyonunu ve immünoglobulin üretimini inhibe edebildiğini göstermiştir. Bu etkiler, toksin türüne, dozuna, maruz kalma süresine ve kombinasyonuna bağlı olarak değişir. Bu nedenle, tekrarlanan maruziyet sadece kümülatif toksin alımı olarak değil, aynı zamanda biyolojik bir stres yükü olarak da değerlendirilmelidir (Murtaza vd., 2024; Akinmoladun vd., 2025).

Bu bağlamda, yeni mikotoksinler giderek daha fazla dikkate alınmaktadır. Bovidazid (BEA) ve enniatin (ENN) özellikle hücre canlılığının azalması, reaktif oksijen türlerinin artması, apoptoz, membran iyon homeostazının bozulması ve immünomodülatör etkilerle ilişkilidir. Mevcut risk değerlendirmeleri, ENN ve BEA'ların sadece sitotoksisite açısından değil, aynı zamanda immünotoksisite, endokrin, üreme ve gelişimsel etkiler açısından da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi'nin (EFSA) 2024 tarihli botoks değerlendirme raporunda oksidatif stres, hücre sinyal etkileşimleri ve mitokondriyal hasar belirtileri bildirilmiştir; ancak raporda mevcut verilerin in vivo genotoksisitesini desteklemediği de belirtilmiştir. Bu nedenle, yeni mikotoksinler, klasik toksinlerden bağımsız bileşikler olarak değil, klasik toksinlerin etkilerini güçlendirebilen veya değiştirebilen bileşikler olarak değerlendirilmelidir (EFSA, 2024; Hasuda ve Bracarense, 2024; Behr vd., 2025).

Duyarlılık türler arasında da farklılık göstermektedir. Deoksinivalenol (DON) ve zearalenonun (ZEN) birlikte maruz kalmasının domuzlarda bağışıklık ve üreme sistemleri üzerindeki etkileri özellikle önemlidir. Raporlar, DON ve ZEN'in B hücre proliferasyonunu ve immünoglobulin üretimini inhibe edebildiğini; ZEN'in ayrıca domuz ve ruminantların karaciğerini, bağırsaklarını, bağışıklık sistemini ve üreme organlarını etkilediğini göstermektedir. Tavuklarda, aflatoksin, DON, okratoksin A (OTA) ve fumonisinin birlikte maruz kalması, bağırsak bariyeri, doğuştan gelen bağışıklık tepkisi ve karaciğer fonksiyonu üzerinde daha önemli etkilere sahip olabilir; bu da enfeksiyonlara karşı duyarlılığı artırabilir. Bu nedenle, birden fazla mikotoksine birlikte maruz kalma, tek bir toksinin toksisitesinden daha ciddi veya karmaşık sonuçlara yol açabilir (Gómez-Osorio vd., 2024; Pierron vd., 2024; Lv vd., 2025; Akinmoladun vd., 2025).

Öte yandan, mevcut düzenlemeler, özellikle Avrupa Birliği'nde, esas olarak bireysel mikotoksinler için azami limitlere odaklanmaktadır. Birden fazla mikotoksine maruz kalmanın gerçek biyolojik risklerinin daha doğru bir şekilde değerlendirilmesi, gelişmiş izleme sistemleri, kümülatif risk analizi ve analitik testleri yem yönetimiyle birleştiren entegre azaltma stratejileri gerektirmektedir. Risk değerlendirme perspektifinden bakıldığında, bir toksinin içeriği yasal sınırın altında olsa bile, özellikle klasik ve yeni ortaya çıkan mikotoksinlerin bir arada bulunması söz konusu olduğunda, biyolojik güvenlik sağlanamaz (Xu vd., 2024; Vitalini, 2025; Akinmoladun vd., 2025).

Hayvan türleri üzerindeki etkiler

I. Tek mideli hayvanlarda

Tek mideli hayvanlar, özellikle domuzlar ve kümes hayvanları, mikotoksinlerin gastrointestinal etkilerine daha duyarlıdır. Benzer etkiler, yeni ortaya çıkan mikotoksinlerde

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

de gözlemlenmiştir. Kolawole ve ark. (2024), in vitro ve in vivo çalışmalarında bu toksinlerin bağırsak morfolojisini, bağışıklık sistemini, üreme fonksiyonunu ve üretim performansını olumsuz etkilediğini bildirmiştir. Tavuklarda yapılan daha yeni çalışmalar da mikotoksinlere maruz kalmanın bağırsak sağlığı, bağışıklık tepkisi, birikim ve enfeksiyona duyarlılık üzerinde çoklu etkileri olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, yeni ortaya çıkan mikotoksinlerle ilgili temel soru sadece "ne kadar toksiktirler?" değil, aynı zamanda "genellikle hangi diğer toksinlerle birlikte bulunurlar?" sorusudur (Kolawole ve ark., 2024; Olariu ve ark., 2025).

Bovidia oleracea (BEA) ve enniatin (ENN)'nin bağırsak bariyer fonksiyonunu, hücre sağkalımını, inflamatuar yanıtları ve epitel bütünlüğünü etkilediği bildirilmiştir. Hasuda ve Bracarense (2024), bu toksinlerin iyon taşınımını etkileyerek hücre zarının bütünlüğünü bozabileceğini; oksidatif stres, apoptoz, hücre döngüsü bozulması ve bağışıklık düzenlemesi yoluyla toksisiteye neden olabileceğini, ancak in vivo verilerin sınırlı kaldığını vurgulamıştır. Bu veriler, mantar toksinlerinin üretiminin, özellikle genç hayvanlarda, subklinik inflamasyon, bağırsak bariyer disfonksiyonu, yem kullanımının azalması ve enfeksiyonlara karşı duyarlılığın artmasıyla ilişkili olabileceğini düşündürmektedir (Bertero vd., 2020; Hasuda ve Bracarense, 2024).

Juan-García vd. (2024), bir hücre modelinde BEA, ENN B ve okratoksin A'nın bireysel ve kombine etkilerini değerlendiren bir çalışmada, belirli kombinasyonların sitotoksisiteyi artırabileceğini ve sinerjik etkiler oluşturabileceğini göstermiştir; bu etki özellikle periferik kan mononükleer hücrelerinde belirgindi. Bu nedenle, risk değerlendirmesi yalnızca bireysel toksisite verilerine değil, aynı zamanda eş kontaminasyonun doğasına ve karmaşık etkilere de odaklanmalıdır (Juan-García vd., 2024; Kolawole vd., 2024).

Domuzlar, mikotoksin araştırmalarında en hassas ve en sık incelenen hayvanlar arasındadır; bu nedenle, ortaya çıkan mikotoksinlerin biyolojik etkilerini değerlendirmek için ideal modellerdir (Kolawole vd., 2024; Akinmoladun vd., 2025). Kolawole vd. (2024), domuzlarda DAS'ın esas olarak gastrointestinal toksisite, yem alımında azalma ve kilo alımının engellenmesi ile ilişkili olduğunu; belirli konsantrasyonlarda MON'un vücut ağırlığı, yem alımı ve hematolojik parametreler üzerinde olumsuz etkileri olduğunu bildirmiştir. Bazı deneylerde, BEA ve ENN tek başına uygulandığında önemli bir fonksiyon kaybına neden olmamıştır, ancak bu, bu toksinlerin önemsiz olduğu anlamına gelmez. Lipofilik yapıları nedeniyle, hayvan dokularına ve ürünlerine geçme potansiyelleri vardır ve bu da insanlarda ek bir maruz kalma riski oluşturmaktadır (Krzyžová vd., 2021; Behr vd., 2025).

Novák vd. (2021), BEA ve ENN'nin tek başına veya DON ile kombinasyon halinde sütten kesilmiş domuz yavruları üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir; DON içeren gruplardaki domuz yavrularının vücut ağırlıklarının azaldığını, bağırsak, karaciğer ve lenfoid dokularda histolojik hasarın arttığını ve mikrobiyal çeşitliliğin azaldığını bulmuşlardır. Bu, yeni mikotoksinlerin öneminin klasik toksinlerle birleştirildiğinde daha belirgin olduğunu göstermektedir. Tekli maruz kalmaya kıyasla DON, nivalvinol ve zearalenon ile takviye edilen domuzlarda daha belirgin sistemik histolojik değişiklikler gözlemlenmiştir (Gerez vd., 2015). Diğer raporlar, DON ve ZEN kombinasyonunun, tekli maruz kalmaya kıyasla vücut ağırlığı ve yem alımında, enterit ve sistemik toksisitede daha büyük azalmalara neden olabileceğini göstermektedir; ve damızlık domuzların üreme performansını olumsuz etkiler (Akinmoladun vd., 2025; Raj vd., 2025; Pierron vd., 2024; Malczak vd., 2025).

Mikotoksinlerin kümes hayvanı üretimindeki ekonomik etkisi genellikle kronik veya subklinik performans düşüşleriyle ilişkilidir. Düşük doz mikotoksinlere tekrarlanan maruz

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

kalma, broyler tavuklarda yem dönüşüm oranını düşürür; özellikle DAS, T-2 toksini ve aflatoksin kombinasyonlarının ishal, büyüme geriliği ve yem kullanımında azalma ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. BEA, ENN ve DAS gibi yeni ortaya çıkan veya yetersiz düzenlenmiş mikotoksinler tek başına kullanıldığında belirgin klinik belirtilere neden olmayabilir; ancak klasik toksinlerle birleştiğinde broyler tavukların performansını önemli ölçüde düşürürler. Çeşitli doğal mikotoksinlerle kontamine edilmiş mısır kullanılarak yapılan çalışmalar, düşük dozlara tekrarlanan maruz kalmanın canlı ağırlık artışını azalttığını, yem dönüşüm oranını düşürdüğünü ve karaciğer ve böbrek stres indekslerini artırdığını da göstermiştir (Kolawole vd., 2024; Riboty ve Huaringa, 2025). Yakın zamanda yapılan bir meta-analiz ve yaşam döngüsü değerlendirmesi, iki veya daha fazla mikotoksinle kontamine olmuş yemle beslenen broyler tavuklarında yem kullanımında %10,8'lik bir azalma olduğunu göstermiştir; 100.000 tavuklu bir yumurta çiftliğinde bu, yılda yaklaşık 400 ton ek yem tüketimine ve yaklaşık 200.000 euro ek maliyete dönüşebilir (Kolavole vd., 2025). Piliçlerde ve yumurta tavuklarında, fumonisin + DAS, fumonisin + OTA ve aflatoksin + fumonisin kombinasyonlarının, canlı ağırlık artışını önlemede bireysel maruziyetten daha etkili olduğu bildirilmiştir (Akinmoladun vd., 2025; Ochieng vd., 2025).

Yumurta tavuklarında, AFB1 ve fumonisine tek başına veya kombinasyon halinde maruz kalmanın yumurta üretimi, organ ağırlığı ve biyokimyasal sağlık parametreleri üzerinde olumsuz etkileri olmuştur. Ayrıca, Cezayir'de tavuk yemi ve yumurta örnekleri kullanılarak yapılan bir çalışma, ENN B1'in yem örneklerinin çoğunda tespit edildiğini, BEA tespit oranının ise düşük olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, ortaya çıkan mikotoksinlerin kümes hayvanı üretiminde sadece teorik değil, aynı zamanda gerçek bir kontaminasyon sorunu olduğunu ve geleneksel toksinlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Laouni vd., 2024).

II. Ruminant hayvanlarda

Ruminantlarda yeni ortaya çıkan mikotoksinler hakkındaki mevcut bilgiler sınırlıdır. Ruminant mikroplarının toksinleri kısmen nötralize edebileceği bazen varsayılsa da, mevcut verilerin yetersizliği, gerçek riskin önemsiz olduğu anlamına gelmez. Ruminantın toksinleri detoksifiye etme kapasitesi, toksinin türüne ve dozuna, diyet bileşimine, rumen pH'ına ve maruz kalma süresine bağlı olarak değişir. Bu nedenle, ruminantlarda yeni ortaya çıkan mikotoksinlerin biyolojik önemi dikkatlice değerlendirilmelidir (Kolawole vd., 2024; Bandyk, 2024; Gallo vd., 2024; Hartinger vd., 2023; Rivera-Chacon vd., 2024; Hartinger vd., 2023; Rivera-Chacon vd., 2024; Falkaus vd., 2025).

Süt ineklerinin yemleri üzerine yapılan daha yeni çalışmalar, ruminant sistemlerinde yaygın eş kontaminasyonu da göstermiştir. Zhu vd. (2025) yılında yapılan bir çalışmada, toplam karma rasyonlarda (TMR), ek yem örneklerinde, tahıllarda ve samanda üç veya daha fazla mikotoksinin aynı anda tespit edilebildiği bildirilmiştir. Chhaya ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmalar, aflatoksin, deoksinivalenol (DON), zearalenon (ZEN), fumonisin, okratoksin A (OTA) ve T-2/HT-2 toksinlerinin dünya çapında hayvan yemlerinde ve yem bileşenlerinde yaygın olarak bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca, yemdeki mikotoksinlerin, süt ve süt ürünlerinde bulunan düzenlenmiş veya ortaya çıkan mikotoksinler/metabolitler yoluyla insan sağlığını dolaylı olarak etkileyebileceğine dair kanıtlar da mevcuttur (Leite ve ark., 2023; Borowsky ve ark., 2024; Chen ve ark., 2025; Chhaya ve ark., 2025).

Ek olarak, mikotoksinlerin geviş getiren hayvan hücreleri üzerinde biyolojik etkileri olabileceğine dair yeni kanıtlar da ortaya çıkmaktadır. Xu ve ark., (2023) tarafından yapılan yapılan bir çalışma, DON gibi klasik *Fusarium* toksinlerine ek olarak, ENN B ve BEA gibi yeni *Fusarium* metabolitlerinin de in vitro sığır meme epitel hücre modellerinde hücre

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

canlılığını, hücre geçirgenliğini ve doğuştan gelen bağışıklık fonksiyonlarını olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir. Sandrini ve ark. (2025) in vitro olarak ENN B'nin sığır polimorf çekirdekli lökositlerinin fagositozunu azalttığını ve hücre dışı reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimini artırdığını bildirmiştir. Bu bulgular, mantar toksinlerinin geviş getiren hayvanların bağışıklık yanıtındaki rolünün göz ardı edilmemesi gerektiğini göstermektedir. Birden fazla toksine maruz kalma, özellikle yüksek verimli süt ineklerinde ve küçük baş hayvanlarda zararlı etkilere sahip olabilir. Çalışmalar, AFB1, OTA ve ZEN kombinasyonunun süt koyunlarında kuru madde alımını ve süt üretimini azalttığını; ve belirli koşullar altında, süt ırkı koyunların birden fazla toksinle yaygın kontaminasyonunun tek bir toksinden daha önemli veya istikrarsızlaştırıcı etkilere sahip olabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, geviş getiren hayvanlarda mikotoksinleri değerlendirirken, yalnızca toksisiteleri değil, aynı zamanda süt üretimi, süt bileşimi ve gıda güvenliği zinciri üzerindeki etkileri de dikkate alınmalıdır (Akinmoladun vd., 2025; Bandyk, 2024; Zhu vd., 2025).

Düzenleyici çerçeve ve risk değerlendirmesindeki boşluklar

Yeni ortaya çıkan mikotoksinlerle mücadelede karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, birçok ülkede bu toksinlerin çoğu için net üst limitlerin olmamasıdır. Bu nedenle, risk yönetimi açısından bakıldığında, yeni ortaya çıkan mikotoksinler "analitik olarak bilinen ancak tam olarak tanımlanmamış kurallar" kategorisine girer. Avrupa Birliği gıda düzenlemeleri esas olarak gıdalardaki belirli kirleticiler için maksimum limitler belirler; hayvan yemleri için AB, aflatoksin B1, okratoksin A (OTA), deoksinivalenol (DON), zearalenon (ZEN), fumonisinler ve T-2/HT-2 gibi maddeler için ayrı direktifler belirlemiştir. Avrupa Komisyonu Yem Kılavuzları, OTA, DON, ZEN, fumonisinler ve T-2/HT-2 içeren yem bileşenleri ve karma yemler için kılavuz değerler içermektedir. Bununla birlikte, birçok yeni ortaya çıkan mikotoksin için şu anda genel kabul görmüş limitler bulunmamaktadır. *Alternaria* toksinleri için mevcut ana yaklaşım, maksimum limitler yerine izleme düzenlemeleridir (Kolawole vd., 2024; Vitalini vd., 2025; Avrupa Komisyonu, 2022). Avrupa Birliği, ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) ve Codex Alimentarius Komisyonu, diğerlerinin yanı sıra, aflatoksin, fumonisin, deoksinivalenol (DON), zearalenon (ZEN) ve T-2/HT-2 gibi toksinler için çeşitli limitler, düzenlemeler veya ek metinler belirlemiştir. Bununla birlikte, bu çerçeveler genellikle bireysel mikotoksinlere dayanmaktadır. Saha verileri, aynı yem veya yem bileşeninde birden fazla mikotoksinin bir arada bulunmasının yaygın olduğunu ve kümülatif maruziyeti ve toksik etkileşimleri dikkate alan yeni risk değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir (FDA, 2001; Wu, 2014; Kolawole vd., 2024; Eskola vd., 2018).

Bu başarısızlık, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) Kirleticiler Uzman Paneli tarafından yapılan çeşitli değerlendirmelerde de belirtilmiştir. Toplantıda, nivalenol, berberin, enniasin ve monorifomin gibi toksinlerin insan ve hayvan sağlığı için risk oluşturabileceği kaydedilmiş; ancak panel, sınırlı toksisite verilerinin olduğunu kabul etmiştir. EFSA'nın botoksamin hakkındaki 2024 genotoksisite değerlendirme raporunda, mevcut verilerin in vivo genotoksisitesini desteklemediği, ancak yeni ortaya çıkan mikotoksinler hakkındaki genel veri eksikliğinin endişe verici olduğu belirtilmiştir (EFSA Kirleticiler Uzman Paneli, 2013, 2018, 2024).

Bu nedenle, yalnızca yasal sınırların altındaki bireysel toksin konsantrasyonlarına odaklanmak, biyolojik risk değerlendirmesi için yeterli değildir. Gelecekteki risk değerlendirme sistemleri, çoklu maruz kalma yollarını, kronik düşük doz maruziyetini, matris değişkenliğini ve potansiyel kümülatif/sinerjik etkileri dikkate almalıdır. Ortaya çıkan mikotoksinler için temel soru sadece "Mevcut mu?" olmamalıdır. Ancak aynı zamanda

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

"Hangi toksinlerle, hangi matrislerde ve hangi kronik biyolojik yük altında bulunuyorlar?" sorusu da önemlidir (Colavole vd., 2024; Vitalini vd., 2025; EFSA, 2020).

Azaltma stratejileri ve pratik sınırlamalar

Yeni ortaya çıkan mikotoksinlerin kontrolü, geleneksel mikotoksinlere göre daha zordur. Mikotoksin adsorbanları, biyotransformatörler ve yem katkı maddeleri genellikle aflatoksinler veya bazı trikoteksenler için tasarlanmıştır; bu nedenle, yeni ortaya çıkan bileşiklere karşı etkili olmayabilirler. Birkaç ticari mikotoksin adsorbanını değerlendiren bir çalışma, tek mideli hayvan gastrointestinal modelinde test edilen on ürünün yeni ortaya çıkan mikotoksin seviyelerini düşürebildiğini, ancak yalnızca bir silikat ürününün sekiz yeni ortaya çıkan mikotoksinin tümünün seviyelerini aynı anda önemli ölçüde düşürebildiğini göstermiştir. Bu bulgu, adsorbanların yeni ortaya çıkan mikotoksin sorununa her zaman güvenilir ve uygun bir çözüm olmadığını göstermektedir (Siri-Anusornsak vd., 2023).

İzotiyosiyanatlar, bazı diyet lifleri ve laktik asit bakterileri gibi yaklaşımlar in vitro olarak iyi sonuçlar göstermiş olsa da, farklı yem matrislerinde, pH koşullarında ve birden fazla toksin kompleksinin varlığında gerçek etkinlikleri bilinmemektedir. Son zamanlarda yapılan sistematik bir inceleme, probiyotiklerin, prebiyotiklerin ve sinbiyotiklerin, ortaya çıkan mikotoksinlerin biyoyararlanımını azaltma, bağlanma ve metabolizmalarını etkileme ve oksidatif stresi azaltma potansiyeline sahip olduğunu bulmuştur; ancak, nicel ve nitel veriler sınırlıdır ve uzun vadeli in vivo çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Lázaro vd., 2024). En yaygın probiyotik cinsleri *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* ve *Saccharomyces*'tir; başlıca prebiyotikler ise inülin ve selülozdur (Mischler vd., 2024).

Bu nedenle, ortaya çıkan mikotoksinlerin yönetimine yönelik en gerçekçi yaklaşım, azaltma stratejilerini ve önleyici tedbirleri dikkate almaktır; ancak, ana odak noktası önlemedir. İyi tarım uygulamaları, doğru hasat zamanlaması, etkili kurutma ve depolama, tehlikeli alanların izolasyonu, sıvı kromatografi-tandem kütle spektrometrisi (LC-MS/MS) kullanılarak tekrarlanan çalışmalar ve çok yıllık izleme programları temel araçlardır. Mevcut çalışmalar, üretim zinciri boyunca mikotoksin risklerini yönetmek için GHP/HACCP tabanlı önlemlerin, kromatografik yöntemlerin, referans materyallerin ve analitik altyapının uygulanması ihtiyacını vurgulamaktadır (Gallo et al., 2024; Kovač Tomas ve Jurčević Šangut, 2025).

Sonuç

Literatürün kapsamlı bir incelemesi, ortaya çıkan mikotoksinlerin artık sadece “ek” veya “önemsiz” sağlık sorunları olmadığını göstermektedir. Bu toksinler, özellikle çoklu toksin kontaminasyonu, uzun vadeli düşük doz maruziyeti ve olumsuz etkiler açısından yeniden değerlendirilmesi gereken önemli bir risk alanını temsil etmektedir. Kolawole vd. (2024), ortaya çıkan mikotoksinlerin küresel dağılımını, farklı yem matrislerindeki farklılıklarını ve hayvan sağlığı ve performansı üzerindeki etkilerini sistematik olarak karakterize etmiştir; Akinmoladun vd. (2025), çoklu mikotoksin kontaminasyonunun hayvan sağlığı, performansı ve gıda güvenliği üzerindeki etkisini kapsamlı bir şekilde analiz etmiştir.

Son saha çalışmaları, çoklu mikotoksin kontaminasyonunun sığır yemlerinde, kaba yemlerde, meralarda ve silaj karışımlarında yaygın olduğunu göstermektedir.. Küresel sistematik incelemeler ve meta-analizler, hayvan yemlerinde aflatoksin, deoksinivalenol (DON), zearalenon (ZEN), fumonisinler, okratoksin A (OTA) ve T-2/HT-2 toksinlerinin yaygın varlığını da doğrulamıştır (Zhu vd., 2025; Chhaya vd., 2024).

Bu bağlamda, ortaya çıkan mikotoksinler - yaygın ancak genellikle yeterince anlaşılmayan kirleticiler - karışım halindeki biyolojik olarak tehlikeli maddeler, bağırsak

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

sağlığını, bağışıklığı ve verimliliği etkileyen maddeler ve hayvanlar üzerindeki biyolojik etkileri henüz tam olarak anlaşılmamış bileşikler olarak tanımlanabilir. Bu değerlendirme, mikotoksinlerin hayvanların büyümesi, bağışıklığı ve duyarlılığı üzerindeki etkilerine ilişkin son incelemelerle ve hayvancılık üretiminde risk değerlendirmesi için kullanılabilecek bulgularla tutarlıdır (Olariu vd., 2025; Bandyk, 2024; Kolawole vd., 2024).

Gelecekteki çalışmalar için öncelikli konular şunlardır: geviş getiren hayvanlar için doğrudan toksisite verilerinin doğruluğunu artırmak amacıyla düşük dozlu mikotoksin karışımlarının deneysel modellenmesi, süt ve diğer hayvansal ürünlere mikotoksin giriş yollarının aydınlatılması ve düzenleyici çerçeveleri desteklemek için uzun vadeli saha izleme verilerinin genişletilmesi. Bu çalışmalar, yemlerde çoklu mikotoksin kontaminasyonunun yaygınlığını ve süt ve diğer hayvansal ürünlerde klasik ve yeni ortaya çıkan mikotoksinlerin tespitini gösteren çalışmalarla tutarlıdır (Leite vd., 2023; Chhaya vd., 2024; Chen vd., 2025).

Yeni mikotoksinler, temel toksikoloji ve uygulamalı hayvan beslenmesi bilimleri alanlarında büyük önem taşımaktadır. Birden fazla kirleticinin yaygınlığı, yem farklılığı, türler arasındaki hassasiyet farklılıkları ve uzun süreli düşük doz maruziyetinden kaynaklanan potansiyel üretim kayıpları göz önüne alındığında, bu bileşiklerin hayvan sağlığı ve verimliliği alanında gelecekteki araştırma ve yönetim konuları arasında yer alması muhtemeldir (Kolawole vd., 2024; Akinmoladun vd., 2025; Zhu vd., 2025).

Kaynakça

Akinmoladun, O. F., Fon, F. N., Nji, Q., Adeniji, O. O., Tangni, E. K., & Njobeh, P. B. (2025). Multiple mycotoxin contamination in livestock feed: Implications for animal health, productivity, and food safety. *Toxins, 17*(8), 365. https://doi.org/10.3390/toxins17080365

Alexander, J., Benford, D., Boobis, A., Ceccatelli, S., Cottrill, B., Cravedi, J. P., ... & van Leeuwen, R. (2011). Scientific opinion on the risks for animal and public health related to the presence of Alternaria toxins in feed and food. *EFSA journal*, *9*(10).

Angioni, A., Russo, M., La Rocca, C., Pinto, O., & Mantovani, A. (2022). Modified mycotoxins, a still unresolved issue. *Chemistry*, *4*(4), 1498-1514.

Bandyk, C. A. (2024). Mycotoxins in ruminant livestock production: An underestimated and overlooked risk and opportunity?. *Applied Animal Science*, *40*(6), 802-817.

Behr, A. C., Fæste, C. K., Azqueta, A., Tavares, A. M., Spyropoulou, A., Solhaug, A., ... & Dietrich, J. (2025). Hazard characterization of the mycotoxins enniatins and beauvericin to identify data gaps and improve risk assessment for human health. *Archives of toxicology*, *99*(5), 1791-1841.

Bertero, A., Fossati, P., Tedesco, D. E. A., & Caloni, F. (2020). Beauvericin and enniatins: In vitro intestinal effects. *Toxins*, *12*(11), 686. https://doi.org/10.3390/toxins12110686

Borowsky, A. M., Rosim, R. E., Tonin, F. G., de Oliveira, C. A. F., & Corassin, C. H. (2024). Co-Occurrence of Mycotoxins in the Diet and in the Milk of Dairy Cows from the Southeast Region of Brazil. *Toxins*, *16*(11), 492.

Chen, Y., Cheng, J., Wang, Z., Liu, H., Xia, C., Zhang, H., ... & Xu, C. (2025). Quantification and metabolic variations of mycotoxins in raw milk: Implications for dairy cow health and human safety. *Journal of Dairy Science*, *108*(5), 4709-4725.

Chhaya, R. S., O'Brien, J., Nag, R., & Cummins, E. (2024). Prevalence and concentration of mycotoxins in bovine feed and feed components: A global systematic review and

meta-analysis. *Science of the Total Environment*, *929*, 172323. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172323

Chhaya, R. S., Nag, R., & Cummins, E. (2025). Human health risk from co-occurring mycotoxins in dairy: A feed-to-fork approach. *Food Control*, *168*, 110954.

Chilenga, C., Kasapila, W., Masamba, K., Manani, T., Munkhuwa, V., Ndhlovu, B., & Machira, K. (2025). Knowledge structure and evolution of masked mycotoxin research in Sub-Saharan Africa: A systematic review and network analysis approach. *Toxicon: X*, 100232.

Choudhary, K. G., Sharfuddin, C., Kumar, A., & Ghosh, A. K. (2025). Synergistic impact of aflatoxin and ochratoxin A exposure in Charles foster rats: a toxicological study. *Discover Toxicology*, *2*(1), 16.

De Felice, B., Spicer, L. J., & Caloni, F. (2023). Enniatin B1: Emerging mycotoxin and emerging issues. *Toxins*, *15*(6), 383.

de Sa, S. V., Faria, M. A., Fernandes, J. O., & Cunha, S. C. (2024). Investigating the individual and mixture cytotoxicity of co-occurring aflatoxin B1, enniatin B, and sterigmatocystin on gastric, intestinal, hepatic, and renal cellular models. *Food and Chemical Toxicology*, *188*, 114640.

Dimitrakopoulou, M. E., Marinos, G., Karvounis, M., Stoitsis, G., Manouselis, N., Thanopoulos, C., & Elliott, C. (2025). What Lies Behind Mycotoxin Presence in Animal Feed? A Case Study☆. *Journal of Food Protection*, *88*(4), 100464.

EC-European Commission. (2022). Commission recommendation (EU) 2022/553 of 5 April 2022 on monitoring the presence of Alternaria toxins in food. *Off. J. Eur. Communities*, *107*, 90.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2013). Scientific opinion on risks for animal and public health related to the presence of nivalenol in food and feed. *EFSA Journal*, *11*(6), 3262. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3262

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2014). Scientific Opinion on the risks for human and animal health related to the presence of modified forms of certain mycotoxins in food and feed. *EFSA Journal*, *12*(12), 3916.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), Knutsen, H. K., Alexander, J., Barregård, L., Bignami, M., Brüschweiler, B., ... & Edler, L. (2018). Risk to human and animal health related to the presence of 4, 15-diacetoxyscirpenol in food and feed. *Efsa Journal*, *16*(8), e05367.

EFSA. (2020). *Mycotoxin mixtures in food and feed.* European Food Safety Authority.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), Knutsen, H. K., Åkesson, A., Bampidis, V., Bodin, L., Chipman, J. K., ... & Bignami, M. (2024). Genotoxicity of beauvericin. *EFSA Journal*, *22*(10), e9031.

Eskola, M., Altieri, A., & Galobart, J. J. W. M. J. (2018). Overview of the activities of the European Food Safety Authority on mycotoxins in food and feed. *World Mycotoxin Journal*, *11*(2), 277-290.

Falkauskas, R., Jovaišienė, J., Vaičiulienė, G., Kerzienė, S., Jacevičienė, I., Jacevičius, E., ... & Baliukonienė, V. (2024). Effect of in vitro ruminal pH on zearalenone degradation and interaction with other mycotoxins in a static gastrointestinal model. *Toxins*, *17*(1), 13.

Freire, L., & Sant'Ana, A. S. (2018). Modified mycotoxins: An updated review on their formation, detection, occurrence, and toxic effects. *Food and Chemical Toxicology*, *111*, 189-205.

Gallo, A., Ghilardelli, F., Atzori, A. S., Zara, S., Novak, B., Faas, J., & Fancello, F. (2021). Co-occurrence of regulated and emerging mycotoxins in corn silage: Relationships with fermentation quality and bacterial communities. *Toxins*, *13*(3), 232.

Gallo, A., Catellani, A., Ghilardelli, F., Lapris, M., & Mastroeni, C. (2024). Strategies and technologies in preventing regulated and emerging mycotoxin co-contamination in forage for safeguarding ruminant health. *animal*, *18*, 101280.

Gautier, C., Pinson-Gadais, L., & Richard-Forget, F. (2020). Fusarium mycotoxins enniatins: An updated review of their occurrence, the producing Fusarium species, and the abiotic determinants of their accumulation in crop harvests. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *68*(17), 4788-4798

Gerez, J. R., Pinton, P., Callu, P., Grosjean, F., Oswald, I. P., & Bracarense, A. P. F. L. (2015). Deoxynivalenol alone or in combination with nivalenol and zearalenone induce systemic histological changes in pigs. *Experimental and Toxicologic Pathology*, *67*(2), 89–98. https://doi.org/10.1016/j.etp.2014.10.001

Gómez-Osorio, L. M., Vasiljevic, M., Raj, J., Chaparro-Gutierréz, J. J., & López-Osorio, S. (2024). Mycotoxins and coccidiosis in poultry–co-occurrence, interaction, and effects. *Frontiers in Veterinary Science*, *11*, 1387856.

Gruber-Dorninger, C., Jenkins, T., & Schatzmayr, G. (2019). Global mycotoxin occurrence in feed: A ten-year survey. *Toxins*, *11*(7), 375.

Hartinger, T., Kröger, I., Neubauer, V., Faas, J., Doupovec, B., Schatzmayr, D., & Zebeli, Q. (2023). Zearalenone and its emerging metabolites promptly affect the rumen microbiota in Holstein cows fed a forage-Rich diet. *Toxins*, *15*(3), 185.

Hasuda, A. L., & Bracarense, A. P. F. (2024). Toxicity of the emerging mycotoxins beauvericin and enniatins: A mini-review. *Toxicon*, *239*, 107534.

Jajić, I., Dudaš, T., Krstović, S., Krska, R., Sulyok, M., Bagi, F., ... & Stankov, A. (2019). Emerging Fusarium mycotoxins fusaproliferin, beauvericin, enniatins, and moniliformin in Serbian maize. *Toxins*, *11*(6), 357.

Johns, L. E., Bebber, D. P., Gurr, S. J., & Brown, N. A. (2022). Emerging health threat and cost of Fusarium mycotoxins in European wheat. *Nature Food*, *3*(12), 1014-1019.

Juan-Garcia, A., Ilie, A. M., Juan, C., & Martinez, L. (2024). Evaluating the combined and individual cytotoxic effect of beauvericin, enniatin B and ochratoxin a on breast cancer cells, leukemia cells, and fresh peripheral blood mononuclear cells. *Toxicology in Vitro*, *99*, 105890.

Kemboi, D. C., Ochieng, P. E., Antonissen, G., Croubels, S., Scippo, M. L., Okoth, S., ... & Gathumbi, J. K. (2020). Multi-mycotoxin occurrence in dairy cattle and poultry feeds and feed ingredients from Machakos Town, Kenya. *Toxins*, *12*(12), 762.

Khan, R., Anwar, F., & Ghazali, F. M. (2024). A comprehensive review of mycotoxins: Toxicology, detection, and effective mitigation approaches. *Heliyon*, *10*(8).

Kleber, A., Gruber-Dorninger, C., Platzer, A., Payet, C., & Novak, B. (2023). Effect of fungicide treatment on multi-mycotoxin occurrence in French wheat during a 4-year period. *Toxins*, *15*(7), 443.

Kolawole, O., Siri-Anusornsak, W., Petchkongkaew, A., & Elliott, C. (2024). A systematic review of global occurrence of emerging mycotoxins in crops and animal feeds, and their toxicity in livestock. *Emerging Contaminants*, *10*(3), 100305.

Kos, J., Radić, B., Lešić, T., Anić, M., Jovanov, P., Šarić, B., & Pleadin, J. (2024). Climate change and mycotoxins trends in Serbia and Croatia: A 15-Year Review. *Foods*, *13*(9), 1391.

Křížová, L., Dadáková, K., Dvořáčková, M., & Kašparovský, T. (2021). Feedborne mycotoxins beauvericin and enniatins and livestock animals. *Toxins*, *13*(1), 32.

Laouni, C., Lara, F. J., Messai, A., Redouane-Salah, S., Hernández-Mesa, M., Gámiz-Gracia, L., & García-Campaña, A. M. (2024). Emerging mycotoxin occurrence in chicken feed and eggs from Algeria. *Mycotoxin Research*, *40*(3), 447-456.

Lapris, M., Errico, M., Rocchetti, G., & Gallo, A. (2024). The potential of multi-screening methods and omics technologies to detect both regulated and emerging mycotoxins in different matrices. *Foods*, *13*(11), 1746.

Lázaro, Á., Vila-Donat, P., & Manyes, L. (2024). Emerging mycotoxins and preventive strategies related to gut microbiota changes: probiotics, prebiotics, and postbiotics–a systematic review. *Food & Function*, *15*(18), 8998-9023.

Leite, M., Freitas, A., Barbosa, J., & Ramos, F. (2023). Regulated and emerging mycotoxins in bulk raw milk: What is the human risk?. *Toxins*, *15*(10), 605.

Li, T., Qiao, W., Zhou, J., Hao, Z., Oliveri Conti, G., Velkov, T., ... & Dai, C. (2025). Mycotoxin-Caused Intestinal Toxicity: Underlying Molecular Mechanisms and Further Directions. *Toxics*, *13*(8), 625.

Louro, H., Vettorazzi, A., López de Cerain, A., Spyropoulou, A., Solhaug, A., Straumfors, A., ... & Marko, D. (2024). Hazard characterization of Alternaria toxins to identify data gaps and improve risk assessment for human health. *Archives of toxicology*, *98*(2), 425-469.

Lv, Q., Xu, W., Yang, F., Wei, W., Chen, X., Zhang, Z., & Liu, Y. (2025). Reproductive toxicity of zearalenone and its molecular mechanisms: a review. *Molecules*, *30*(3), 505.

Malczak, I., Gajda, A., & Jedziniak, P. (2025). Deoxynivalenol and pigs: review of harmful effect of Mycotoxin on swine health. *Porcine Health Management*, *11*(1), 27.

Maphaisa, T. C., Akinmoladun, O. F., Adelusi, O. A., Mwanza, M., Fon, F., Tangni, E., & Njobeh, P. B. (2025). Advances in mycotoxin detection techniques and the crucial role of reference material in ensuring food safety. A review. *Food and chemical toxicology*, *200*,115387.

Mihalache, O. A., De Boevre, M., Dellafiora, L., De Saeger, S., Moretti, A., Pinson-Gadais, L., ... & Dall'Asta, C. (2023). The occurrence of non-regulated mycotoxins in foods: A systematic review. *Toxins*, *15*(9), 583.

Mischler, S., André, A., Chetschik, I., & Miescher Schwenninger, S. (2024). Potential for the Bio-Detoxification of the Mycotoxins Enniatin B and Deoxynivalenol by Lactic Acid Bacteria and Bacillus spp. *Microorganisms*, *12*(9), 1892.

Muñoz-Solano, B., & González-Peñas, E. (2023). Co-Occurrence of mycotoxins in feed for cattle, pigs, poultry, and sheep in Navarra, a region of Northern Spain. *Toxins*, *15*(3), 172.

Murtaza, B., Li, X., Nawaz, M. Y., Saleemi, M. K., Li, G., Jin, B., ... & Xu, Y. (2024). Toxicodynamic of combined mycotoxins: MicroRNAs and acute-phase proteins as diagnostic biomarkers. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *23*(3), e13338.

Nagda, A., & Meena, M. (2024). Alternaria mycotoxins in food and feed: Occurrence, biosynthesis, toxicity, analytical methods, control and detoxification strategies. *Food Control*, *158*, 110211.

Nazareth, T. M., Bordin, K., Manyes, L., Meca, G., Manes, J., & Luciano, F. B. (2016). Gaseous allyl isothiocyanate to inhibit the production of aflatoxins, beauvericin and enniatins by Aspergillus parasiticus and Fusarium poae in wheat flour. *Food control*, *62*, 317-321.

Nazareth, T. D. M., Soriano Pérez, E., Luz, C., Meca, G., & Quiles, J. M. (2024). Comprehensive review of aflatoxin and ochratoxin A dynamics: Emergence, toxicological impact, and advanced control strategies. *Foods*, *13*(12), 1920.

Nešić, K., Habschied, K., & Mastanjević, K. (2023). Modified mycotoxins and multitoxin contamination of food and feed as major analytical challenges. *Toxins*, *15*(8), 511.

Novak, B., Hasuda, A. L., Ghanbari, M., Maruo, V. M., Bracarense, A. P. F., Neves, M., ... & Schatzmayr, D. (2021). Effects of Fusarium metabolites beauvericin and enniatins alone or in mixture with deoxynivalenol on weaning piglets. *Food and Chemical Toxicology*, *158*, 112719.

Ochieng, P. E., Kemboi, D. C., Okoth, S., De Baere, S., Cavalier, E., Kang'ethe, E., ... & Croubels, S. (2025). Aflatoxins and fumonisins co-contamination effects on laying hens and use of mycotoxin detoxifiers as a mitigation strategy. *Mycotoxin Research*, *41*(1), 63-75.

Olariu, R. M., Fiţ, N. I., Bouari, C. M., & Nadăş, G. C. (2025). Mycotoxins in broiler production: impacts on growth, immunity, vaccine efficacy, and food safety. *Toxins*, *17*(6), 261.

Palumbo, R., Crisci, A., Venâncio, A., Cortiñas Abrahantes, J., Dorne, J. L., Battilani, P., & Toscano, P. (2020). Occurrence and co-occurrence of mycotoxins in cereal-based feed and food. *Microorganisms*, *8*(1), 74.

Pavicich, M. A., De Boevre, M., Vidal, A., Iturmendi, F., Mikula, H., Warth, B., ... & Patriarca, A. (2020). Fate of free and modified Alternaria mycotoxins during the production of apple concentrates. *Food Control*, *118*, 107388.

Penagos-Tabares, F., Khiaosa-Ard, R., Nagl, V., Faas, J., Jenkins, T., Sulyok, M., & Zebeli, Q. (2021). Mycotoxins, phytoestrogens and other secondary metabolites in Austrian pastures: Occurrences, contamination levels and implications of geo-climatic factors. *Toxins*, *13*(7), 460.

Penagos-Tabares, F., Mahmood, M., Khan, M. Z. U., Talha, H. M. A., Sajid, M., Rafique, K., ... & Zebeli, Q. (2023). Co-occurrence of mycotoxins and other fungal metabolites in total mixed rations of cows from dairy farms in Punjab, Pakistan. *Mycotoxin Research*, *39*(4), 421-436.

Perochon, A., & Doohan, F. M. (2024). Trichothecenes and Fumonisins: Key players in Fusarium–cereal ecosystem interactions. *Toxins*, *16*(2), 90.

Pierron, A., Kleber, A., Mayer, E., & Gerner, W. (2024). Effect of DON and ZEN and their metabolites DOM-1 and HZEN on B cell proliferation and antibody production. *Frontiers in Immunology*, *15*, 1338937.

Poroșnicu, I., Ailincai, L. I., Borș, S. I., Ariton, A. M., Madescu, B. M., & Mares, M. (2025). Prevention of Mycotoxin Contamination Risk in the Feed Chain Through GHP and HACCP. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, *58*(2), 67-74.

Puntscher, H., Cobankovic, I., Marko, D., & Warth, B. (2019). Quantitation of free and modified Alternaria mycotoxins in European food products by LC-MS/MS. *Food Control*, *102*, 157-165 Radić, B., Radović, R., Janić Hajnal, E., Mandić, A., Đekić, S., Stojanović, Z., & Kos, J. (2023). Moniliformin occurrence in Serbian maize over four years: Understanding weather-dependent variability. *Toxins*, *15*(11), 634.

Raj, J., Tassis, P., Männer, K., Farkaš, H., Jakovčević, Z., & Vasiljević, M. (2025). Effects of a multicomponent mycotoxin detoxifying agent on health and performance of weaned pigs under combined dietary exposure to deoxynivalenol (DON) and zearalenone (ZEN). *Toxins*, *17*(3), 146.

Riboty, R., & Huaringa, D. (2025). Evaluation of Two Mycotoxin-Detoxifying Agents in Broilers Fed Naturally Contaminated Corn with Elevated Mycotoxin Levels. *Journal of Applied Poultry Research*, 100644.

Rivera-Chacon, R., Hartinger, T., Castillo-Lopez, E., Lang, C., Penagos-Tabares, F., Mühleder, R., ... & Ricci, S. (2024). Duration of zearalenone exposure has implications on health parameters of lactating cows. *Toxins*, *16*(3), 116.

Rocchetti, G., Catellani, A., Canossa, M., Errico, M., Froldi, F., Lapris, M., ... & Gallo, A. (2025). Occurrence of major mycotoxins in non-corn forages for dairy cattle: A survey of silages and hays from Italian farms. *JDS Communications*.

Rychlik, M., Humpf, H. U., Marko, D., Dänicke, S., Mally, A., Berthiller, F., ... & Lorenz, N. (2014). Proposal of a comprehensive definition of modified and other forms of mycotoxins including "masked" mycotoxins. *Mycotoxin research*, *30*(4), 197-205.

Sandrini, S., Salvi, G., Ravanelli, D., Perricone, V., De Matos, L. G., Ceciliani, F., ... & Agazzi, A. (2025). Enniatin B alters bovine polymorphonuclear leukocytes phagocytosis and extracellular reactive oxygen species production in vitro. *Research in Veterinary Science*, *185*, 105540.

Siri-Anusornsak, W., Kolawole, O., Mahakarnchanakul, W., Greer, B., Petchkongkaew, A., Meneely, J., Elliott, C., & Vangnai, K. (2022). The occurrence and co-occurrence of regulated, emerging, and masked mycotoxins in rice bran and maize from Southeast Asia. *Toxins*, *14*(8), 567.

Stránská, M., Řezanka, T., & Křen, V. (2025). Glycosylated mycotoxins: a hidden enemy. *Natural Product Reports*.

US Food and Drug Administration. (2001). Guidance for industry: fumonisin levels in human foods and animal feeds; final guidance. *US FDA: Silver Spring, MD, USA*.

Wattanasuntorn, P., Poapolathep, S., Phuektes, P., Alassane-Kpembi, I., Fink-Gremmels, J., Oswald, I. P., & Poapolathep, A. (2025). Apoptotic effect of combinations of T-2, HT-2, and diacetoxyscirpenol on human Jurkat T cells. *Toxins*, *17*(4), 203.

Weaver, A. C., Weaver, D. M., Adams, N., & Yiannikouris, A. (2021). Co-occurrence of 35 mycotoxins: A seven-year survey of corn grain and corn silage in the United States. *Toxins*, *13*(8), 516. https://doi.org/10.3390/toxins13080516

Weaver, A. C., Weaver, D. M., de Carvalho, L. V., & Yiannikouris, A. (2025). Influence of Climatic Region and Feedstuff Type on the Co-Occurrence and Contamination Profiles of 54 Mycotoxins in European Grains and Forages: A Seven-Year Survey. *Toxins*, *18*(1), 5.

Wu, Y. (2014). General standard for contaminants and toxins in food and feed. *Codex stan*, 193-1995.

Wu, Y., Li, M., Hou, Z., Ni, Z., Gao, S., Li, H., ... & Chu, Z. (2025). Long-term trends and rising levels of refractory dissolved organic matter in a suburban plateau lake: Impacts of hydrological changes. *Journal of Environmental Management*, *386*, 125813.

Xu, R., Kiarie, E. G., Yiannikouris, A., Sun, L., & Karrow, N. A. (2022). Nutritional impact of mycotoxins in food animal production and strategies for mitigation. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *13*(1), 69.

Vitalini, S., Iriti, M., & Vallone, L. (2025). Mycotoxins in European Union Regulations (2023-2025). *Italian Journal of Food Safety*, *15*(1), 14096.

Yang, C. K., Cheng, Y. H., Tsai, W. T., Liao, R. W., Chang, C. S., Chien, W. C., ... & Yu, Y. H. (2019). Prevalence of mycotoxins in feed and feed ingredients between 2015 and 2017 in Taiwan. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(23), 23798-23806.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Zhao, L., Zhang, L., Xu, Z., Liu, X., Chen, L., Dai, J., ... & Sun, L. (2021). Occurrence of Aflatoxin B1, deoxynivalenol and zearalenone in feeds in China during 2018–2020. *Journal of Animal Science and Biotechnology, 12*(1), 74.

Xu, R., Shandilya, U. K., Yiannikouris, A., & Karrow, N. A. (2023). Traditional and emerging Fusarium mycotoxins disrupt homeostasis of bovine mammary cells by altering cell permeability and innate immune function. *Animal Nutrition, 12*, 388-397.

Xu , W., Liang, J., Zhang, J., Song, Y., Zhao, X., Liu, X., ... & Zhang, L. (2024). Natural occurrence and co-occurrence of beauvericin and enniatins in wheat kernels from China. *Toxins, 16*(7), 290.

Zhang, Y., Liu, C., & van der Fels-Klerx, H. J. (2025a). Occurrence, toxicity, dietary exposure, and management of Alternaria mycotoxins in food and feed: A systematic literature review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *24*(1), e70085.

Zhang, Y., Liu, C., Liao, X., Yan, J., van der Fels-Klerx, H. J., & Du, R. (2025b). Quantification of Alternaria mycotoxins with QuEChERS-based LC-MS/MS and dietary exposure assessment. *Journal of Agriculture and Food Research*, 102510.

Zhu, Z., Cheng, H., Wang, J., Ma, J., Wang, J., Wang, H., Zhou, X., & Yang, J. (2025). Occurrence of co-contamination and interaction of multi-mycotoxins in dairy cow feed in China. *Toxins, 17*(3), 137. https://doi.org/10.3390/toxins17030137

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

DOĞAL EKOSİSTEMLERİ KORUYAN BAZI YASAL HÜKÜMLERİN YENİ YASAL DÜZENLEMELER İLE KALDIRILMASINA İLİŞKİN DEĞERLENDİRMELER

Doç. Dr. Oğuz KURDOĞLU
Karadeniz Teknik Üniversitesi
oguzkurdoglu@gmail.com - 0000-0002-1706-1542

Doç. Dr. Saliha ÜNVER
Karadeniz Teknik Üniversitesi
salihaunver@ktu.edu.tr - 0000-0001-9882-446X

ÖZET

İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan türlerin yok oluşu endişe verici bir hızla devam ediyor. Hükümetler bu düşüşü durdurmak için kolektif adımlar atıyor. Kunming-Montreal Küresel Biyoçeşitlilik Çerçevesinin nihai metni, doğa kaybını durdurmak, tersine çevirmek ve ekosistemleri restore etmek için gereken minimum küresel çabaları özetliyor. Buna göre, bozulmuş tüm ekosistemlerin %30'u restore edilecek, %30'u korunacak. Türkiye'de ise özellikle son on yılda, doğa koruma alanında elde edilen kazanımları tehlikeye atacak yeni yasal düzenlemeler yürürlüğe girmeye devam ediyor. 6831 sayılı Kanun'un Ek 16. Maddesi, 7334 sayılı Kanunla 2634 Sayılı Turizmi Teşvik Kanunu değişiklikleri, 7552 Sayılı İklim Kanunu ve 7554 Sayılı Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun, 7576 Sayılı *Milli Parklar Kanunu* ve 375 Sayılı *Kanun* Hükmündeki Kararnamede *Değişiklik* Yapılmasına Dair *Kanun hemen sayılabilecek düzenlemelerdir.* Son olarak 6831 Sayılı Orman Kanununa Ek-21 ve Ek-22 No.lu maddeler eklendi. İklim değişikliğinden en çok etkilenen ülkelerden biri olan Türkiye, doğal alanlarını azaltacak düzenlemelerden hızla kaçınmalı ve bu yeni duruma uyum sağlayacak dirençli bir yapı oluşturmalıdır. Bu bildiride, bazı yasalarda yapılan önemli değişiklikler açıklanacak ve özellikle doğa koruma açısından oluşan dezavantajlar tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Doğa Koruma, Yasal Düzenlemeler, Orman Kanunu, İklim Kanunu.

EVALUATIONS REGARDING THE ABOLITION OF SOME LEGAL PROVISIONS PROTECTING NATURAL ECOSYSTEMS THROUGH NEW LEGAL REGULATIONS

ABSTRACT

Species extinction caused by human activities continues at an alarming rate. Governments are taking collective steps to stop this decline. The final text of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework outlines the minimum global efforts needed to halt, reverse, and restore ecosystems. Accordingly, 30% of all degraded ecosystems will be restored, and 30% will be protected.In Türkiye, particularly in the last decade, new legal regulations continue to be enacted that threaten the gains made in the field of nature conservation. Article 16 of Law No. 6831, Amendments made to Law No. 2634 by Law No. 7334, the Climate Law No. 7552, the Law Amending Certain Laws No. 7554, the National Parks Law No. 7576, and the Law

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Amending Decree Law No. 375 are some of the regulations that can be immediately cited. Finally, Annexes 21 and 22 were added to the Forestry Law No. 6831. Turkey, one of the countries most affected by climate change, must rapidly avoid regulations that will reduce its natural areas and create a resilient structure to adapt to this new situation. This statement will explain some important changes made to certain laws and discuss the disadvantages arising from them, particularly in terms of nature conservation.

***Keywords*:** Nature Conservation, Legal regulations, Forest Law, Climate Law

GİRİŞ

Türkiye'de Cumhuriyet'le birlikte günümüze kadar yürürlüğe giren çok sayıda yasal ve anayasal düzenlemeler içinde doğal kaynak yönetiminde daima korumayı da gözeten hükümler konmuştur. Örneğin 3116 s. Orman Kanunu (mülga), 3167 s. Kara Avcılığı Kanunu (mülga), 334 Sayılı 1961 Anayasası (mülga), 2709 Sayılı 1982 Anayasası, 2863 s. Doğal ve Kültürel Varlıkları Koruma Kanunu, 4342 s Mera Kanunu, 4915 s. Kara Avcılığı Kanunu, 2872 s. Çevre Kanunu, 2873 s. Milli Parklar Kanunu, 6831 s. Orman Kanunu, 5237 s. Türk Ceza Kanunu gibi düzenlemelerde daima doğal ve kültürel varlıkların korunması için -genellikle yeterli sayılan- hükümler bulmak mümkündür. Ancak 1980'lerden gelen serbest piyasa odaklı dönüşümün 2013 sonrasında daha merkeziyetçi, inşaat ve kaynak kullanımına yaslanan bir biçim alması, özellikle enerji, madencilik, büyük altyapı ve inşaat alanlarında doğanın ve yerel toplulukların korunmasıyla yatırımın hızla gerçekleşmesi arasındaki denge, çoğu zaman yatırım lehine kaymaya başladı. Örneğin yapılan tüm büyük yatırımları denetleyen mekanizmaların başında gelen Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) Yönetmeliği, yürürlüğe girdiği 1993 yılından beri **7'si kapsamlı yenileme** olmak üzere 25 kez değiştirildi. Diğer yandan 4'ü kapsamlı 17 değişiklik ise 2003 yılından bugüne kadar yapılmıştır. Eş zamanlı yapılan kimi yasal değişiklikler ile ormanlar, meralar ve tarım alanları gibi doğal alanların tahsisinde de büyük artışlar olduğunu belirtmek gerekir. Bir başka sorun ise yapılan her yeni düzenleme, birbiriyle doğrudan ilgisi olmayan farklı konulardaki çok sayıda kanunda değişiklik yapan veya yeni hükümler barındıran 'torba kanun' adı verilen düzenlemelerdir. Torba kanun, genellikle hızlandırılmış yasama usulü kullanarak birbiriyle ilgisi olmayan çok sayıda konuyu çok sayıda maddeden oluşan tek bir yasada düzenleyen bir yöntemdir. Bu usul, Türkiye de dâhil olmak üzere çok sayıda ülkede sıklıkla uygulanan, nitelikli yasanın ve etkili demokratik temsilin bazı gereklerini yerine getirmemesi nedeniyle çok eleştirilen yasa türlerinden biridir. Türk parlamento hukukunun güncel sorun olarak 2000'li yıllarda yeniden gündeme gelen torba kanun yolunun ülkemizdeki uygulaması, dünya örneklerinin ötesine aşmış ve yasama trafiğinde yüksek hızdan kaynaklı sorun alanlarına yol açan tehlikeli bir seviyeye gelmiş durumdadır (Esen ve Yeşilırmak, 2023; İba 2024). Bu konu o denli yaygınlaştı ki son iki parlamento döneminde çıkarılan torba kanun, normal yolla çıkarılan kanunun %50'sine yaklaştı. Bu gelişmeler maden, enerji, altyapı, turizm ve korunan alan yönetimini olumsuz anlamda birbirine daha fazla entegre eden bir dönüşüm oluşturdu. Örneğin korunan alanlarda koruma–kullanma dengesi yerine kamu yararı–stratejik yatırım sürecinin güçlenmesi; yatırım izin süreçlerinin daha da merkezileşmesi ve hızlandırılması; ÇED süreçlerinde kümülatif etki değerlendirmesinin getirilmesi ile yatırım süreçlerinin kolaylaştırılması gibi iki zıt uygulamanın yürürlüğe girmesi; milli park yönetiminde koruma kurumu ile tahsis/izin veren kurum rollerinin

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

aynı çatı altında toplanması; karbon konusunda yapılan düzenlemelerin toplumsal kabulünün düşük oluşu; madencilik, enerji dönüşümü biyolojik çeşitliliğin korunması arasındaki yeni çatışma alanlarının varlığı gibi sorun odaklarından bahsetmek olasıdır. Bu sorun alanları, günümüz toplumunda eleştirilirken önümüzdeki yıllar içinde de Türkiye doğa koruma literatüründe en çok tartışılacak konular gibi durmaktadır. Toplumdaki eleştiriler ifadesi burada, kamuoyu araştırmasıyla ölçülmüş toplum görüşü olarak değil; meslek örgütleri, çevre örgütleri, yerel topluluklar, barolar, akademisyenler ve TBMM'deki muhalefet temsilcilerinin kamuya açık itirazları anlamında kullanılmıştır ve toplumun tamamının görüşünü yansıttıkları varsayılmamalıdır. Bunlardan bir bölümü bu bildiride tartışmaya açılmaktadır.

1. DEĞİŞİKLİK YAPILAN YASALAR VE TEMEL TARTIŞMALAR

Türkiye'de doğanın korunmasına ilişkin hukuki çerçeve, tek bir kanuna değil; Çevre Kanunu, Milli Parklar Kanunu, Orman Kanunu, Kıyı Kanunu, Mera Kanunu ve Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu gibi farklı alanlara dağılmış, sektörel nitelikte düzenlemelere dayanmaktadır. Bu düzenlemeler, 1980'lerden itibaren çıkarılan çok sayıda değiştirici kanunla, özellikle de çok sayıda konuyu bir arada ele alan "torba kanunlarla" defalarca yeniden şekillendirilmiştir. Bu değişikliklerin ortak noktası, koruma statüsüne sahip alanlarda enerji, madencilik, turizm, ulaşım ve yapılaşma gibi yatırımlara izin verilmesini kolaylaştırması ve karar yetkisini merkezî idarede toplamasıdır. Bu durum, koruma statüsündeki alanlara ilişkin düzenlemelerin yeterli kamusal tartışma yapılmadan değiştirilebilmesine yol açmaktadır. Yine koruma ile kalkınma arasındaki dengenin nasıl kurulacağı, kamu yararı kavramının kapsamı, Anayasa'nın 56. maddesinde güvence altına alınan sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkının yasama süreçlerinde ne ölçüde gözetildiği ve idari ile yargısal denetimin etkinliği üzerine süren bir tartışmanın da temelini oluşturmaktadır. 7576 sayılı Kanun ise farklı bir yönde değişiklik getirmiş; Çevre Kanunu, Milli Parklar Kanunu ve Kara Avcılığı Kanunu kapsamındaki denetim ve idari yaptırım yetkilerini Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nde toplamıştır (7576 sayılı Kanun, 2026; Tarım ve Orman Bakanlığı, 2026).

2.1 6831 sayılı Orman Kanunu Ek 16. Madde değişikliği

Orman Kanunu'na Ek Madde 16, 19 Nisan 2018 tarihli 7139 sayılı Kanun'un 17. maddesiyle eklenmiş ve orman sınırları dışına çıkarma konusunu yeniden düzenlemiştir. Düzenleme, belirli koşulları taşıdığı kabul edilen bazı alanların orman sınırları dışına çıkarılmasına olanak verir. Hükmün savunması, fiilen orman niteliği taşımayan ve orman olarak muhafazasında yarar bulunmadığı belirlenen alanlardaki mülkiyet ve kullanım sorunlarını çözmeye dayandırılmıştır. Ancak kamuoyu nezdinde tartışmalar bu günlere kadar gelmiştir. Aşkan (2018), 7139 ile eklenen Ek Madde 15, 16 ve 17 içinde bu maddeyi değişikliğin en önemli hükmü olarak nitelemiştir. Anayasa Mahkemesi de 2020'de verdiği kararda, bu uygulamanın kapsam ve güvencelerini değerlendirerek kuralın Anayasa'nın 169. maddesini ihlal etmediği sonucuna varmıştır (Anayasa Mahkemesi, 2020). Madde, bilim ve fen bakımından orman olarak korunmasında yarar görülmeyen ve tarım alanına dönüştürülmesi de mümkün olmayan yerlerin yanında, 7139 sayılı Kanun'un yürürlüğe girdiği tarihte üzerinde yerleşim yeri bulunan veya yerleşim yeri oluşturulmasına uygun görülen alanların da orman sınırları dışına çıkarılmasına olanak tanımaktadır. Çıkarılan alanın iki katından az olmamak üzere taşınmaz, orman tesis etmek üzere Orman Genel Müdürlüğü'ne tahsis edilir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Düzenlemeye yöneltilen başlıca eleştiri, orman niteliğinin kaybının nasıl ve kim tarafından belirlendiği ile sınır dışına çıkarılan alanların sonraki akıbetinin yeterince şeffaf olmamasıdır. TMMOB, kamuoyuyla alan bazında etüt, karar gerekçesi ve telafi amacıyla ayrılan sahalara ilişkin yeterli verinin paylaşılmadığını ileri sürmüş; bu nedenle karar alma yetkisinin merkezileşmesi ve orman varlığının kamu denetimi dışında kalması riskine dikkat çekmiştir (TMMOB,2024). Bu yaklaşımda sorun yalnızca orman sınırından çıkarma işlemi değil, uygulamanın izlenebilirliği ve telafi edici (iki katı büyüklüğündeki) yer tahsisi ve ağaçlandırmanın gerçekleşip gerçekleşmediğinin denetlenebilmesidir. TBMM tutanakları üzerine yapılan içerik analizi de tartışmanın ana eksenlerinin "orman vasfını kaybetmiş alanların" tanımı, bu alanların imar ve 2/B uygulamalarıyla ilişkisi ve düzenlemenin belirli çıkar gruplarına hizmet edebileceği iddiası olduğunu göstermektedir. Çalışma, iktidar kanadının düzenlemeyi teknik ve hukuki bir ihtiyacın sonucu olarak savunduğunu; muhalefetin ise kapsamın genişliği ve muhtemel rant etkileri üzerinde durduğunu kaydetmektedir (Narin, 2025). Dolayısıyla kamuoyundaki temel uyuşmazlık, orman vasfını yitirmiş alanların hukuki durumunun çözümlenmesi gerekip gerekmediğinden çok, bu tespitin şeffaflığı, denetimi ve kamu yararını güvence altına alan daha insani ölçütler üzerindedir. Ancak maddenin iptali istemiyle yapılan başvuru Anayasa Mahkemesi'nin 16 Temmuz 2020 tarihli kararıyla reddedilmiştir.

Mecliste muhalefet partileri milletvekilleri, ek madde-16'yı "rant, yağma, orman talanı, Anayasa ihlali" gibi ağır şekilde eleştirmiş ve yasanın ormansızlaşmayı hızlandıracağını ortaya koymuştur. Yasayı meclise getiren hükümet tarafı ise düzenlemenin zorunlu bir ihtiyaç olduğunu, tarım arazilerini kurtaracağını, depreme dayanıklı yerleşim yerlerinin kurulmasına olanak sağlayacağını ve sürecin şeffaf bir şekilde hem devlete hem de millete kazandıracağını ifade etmiştir (Narin, 2025). Bu nedenle Ek 16. Maddenin uygulama usulleri, Ocak 2021 tarihli ve 31357 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Yönetmelik ile belirlenmiştir (Orman Sınırları Dışına Çıkarma İşlemlerine İlişkin Yönetmelik, 2021).Aslında tartışmanın merkezinde Anayasa'nın 169. maddesi yer almıştı. Türkiye Ormancılar Derneği bu maddenin yalnızca 31 Aralık 1981'den önce orman niteliğini tamamen kaybetmiş alanların sınır dışına çıkarılmasına izin verdiğini, Ek 16'nın ise bu çerçeveyi aştığını savunmaktadır. Dernek ayrıca düzenlemenin orman alanlarını işgal edenleri ödüllendirdiğini ve yeni işgalleri teşvik edebileceğini ileri sürmekte ve 6831 sayılı Orman Kanunu'nun **Ek 16. maddesinin** tamamen kaldırılmasını ve bu maddeye dayanarak orman sınırları dışına çıkarılan tüm alan kararlarının iptal edilmesini talep etmektedir (TOD, 2022)

2.2 2634 sayılı Turizmi Teşvik Kanununda 7334 s. Kanunla yapılan Değişiklik Eleştirileri

Turizmde gelişimi hızlandırmak, turizm yatırımlarını teşvik etmek ve turizm alanlarının planlanmasını düzenlemek amacıyla 1982 yılında çıkarılan 2634 sayılı Turizmi Teşvik Kanunu, turizmde ciddi gelişme sağladığını söylemek abartı sayılmamalıdır. Yürürlüğe giren bu kanun, Türkiye'yi uluslararası turizm pazarında rekabetçi bir aktör haline getirmek amacıyla özel sektöre çok geniş imkanlar, mali kolaylıklar ve yasal güvenceler tanımıştır. Finansal ve alt yapısal pek çok yeni imkanlara kapı açan yasanın yatırımcılar için getirdiği en büyük avantaj, Hazine ve orman arazilerinin turizm yatırımları için **49 yıl gibi uzun sürelerle tahsis**

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

edilmesine olanak tanımasıdır. Ancak, Türkiye'de yapılan teşviklerin daha çok kıyı bölgelerine yönelik olması turistik talebin de bu yörelere yoğunlaşmasına neden olmuştur. Turizm faaliyetlerinin diğer bölgelere ve tüm yıla yayılması hedeflerine ise yeterince ulaşılamamıştır. Ürün çeşitlendirmesi ve bunlardan elde edilecek gelir artışları da planlanan seviyelerde gerçekleşmemiştir (Şanlıoğlu ve Özcan, 2017).

Bu kanunda son on yıldaki önemli değişikliklerden biri 2019 tarihli 7175 sayılı Kanun'la, diğeri ise 2021 tarihli 7334 sayılı Kanun'la yapılmıştır. 2021 değişiklikleri turizm alanı ve merkezlerinin belirlenmesi, planlama ve tahsis süreçleri ile ormanlık alanlardaki turizm kullanımlarına ilişkin yetki ve usulleri yeniden düzenlemiştir (7334 sayılı Kanun metni, TBMM, 2021). 2634 sayılı Turizmi Teşvik Kanunu 1982 yılında kabul edilmiş olmakla birlikte, özellikle sonraki değişikliklerle korunan alanlar ve orman alanlarındaki turizm yatırımları bakımından önemli bir arazi tahsis ve planlama aracı haline gelmiş ve koruma–kullanma dengesi turizm lehine adeta kurumsallaşmıştır. Kanunun güncel sisteminde kültür ve turizm koruma ve gelişim bölgeleri doğal, tarihî ve kültürel değerlerin yoğun olduğu alanları da kapsayabilmektedir. Kanun bu alanlarda "koruma-kullanma dengesi" kavramına yer vermektedir. Bununla birlikte, aynı hukuki yapı turizm yatırımlarının gerçekleştirilmesi için kamu taşınmazlarının ve belirli şartlarla orman alanlarının yatırımcılara tahsisine de olanak sağlamaktadır. 2634 sayılı yasanın yürürlüğe girmesinden bu yanan özellikle tartışılan 8. maddesi, Hazine mülkiyetinde yeterli alan bulunmaması halinde belirli turizm türleri için orman sayılan yerlerin tahsisine olanak tanımaktadır. Sağlık turizmi, termal turizm, kış turizmi, yayla ve kırsal turizm, golf turizmi ve kıyı turizmi bunlar arasındadır.

Kanun'da görece olumlu gibi duran bazı hükümler de bulunmaktadır: Turizme tahsis edilecek orman alanlarının il genelindeki toplam orman alanının belirli bir oranını aşmaması, yapılaşma hakkının sınırlandırılması ve tahsis edilen orman alanına karşılık ağaçlandırma bedeli ödenmesi bunlar arasındadır. Ancak bu yaklaşım da tartışmalara açıktır. Ekolojik açıdan temel sorunu, alan eşdeğerliği ile ekosistem eşdeğerliğinin aynı kabul edilemeyecek olmasıdır. Doğal veya doğala yakın yaşlı bir orman ekosisteminin turizme tahsis edilmesi karşılığında başka bir alanda ağaçlandırma yapılması, kaybedilen habitatın biyolojik çeşitlilik, toprak özellikleri, mikrohabitatlar, genetik çeşitlilik ve ekolojik süreçler bakımından telafi edildiği anlamına gelmez, telafi de edilemez.

Turizm, dünyanın en hızlı büyüyen sektörlerinden biridir ve aynı zamanda kırılgan ekosistemler üzerinde artan bir baskı kaynağıdır. Sosyal, ekonomik ve çevresel etkileri muazzam ve karmaşıktır; bunun en önemli nedenlerinden biri de turizmin hassas doğal ve kültürel alanlara odaklanmasıdır. Bu nedenle, turizmin çevresel hususlarla uyumlu bir şekilde geliştirilmesini sağlamak büyük bir zorluktur. CBD'nin Biyolojik Çeşitlilik ve Turizm Gelişimi Rehberi de hassas ekosistemlerde turizm planlamasının başlangıç verisi, hedef belirleme, etki değerlendirmesi, azaltım, karar alma, izleme ve adaptif yönetim aşamalarından oluşmasını önermektedir (CBD, 2004). Bu bakımdan 2634 sayılı Kanun'un temel zayıflığı turizmin varlığı değildir. Asıl sorun, turizm tahsisi ve yatırım kolaylaştırmasının alanın biyolojik çeşitlilik hedeflerine tabi kılındığının her durumda açık ve güçlü biçimde güvence altına alınmamış olmasıdır. Bu açıdan Mimarlar Odası eleştirileri dikkat çekicidir. Mimarlar Odası'nın eleştirileri, değişikliklerin turizm yatırımlarını hızlandırırken kıyı, orman ve korunan alanların kullanımını da genişletebileceği üzerinde yoğunlaşmıştır. Odaya göre, orman vasıflı Hazine

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

arazilerinin turizm alanı belirlenmesi ve bazı planlama yetkilerinin Kültür ve Turizm Bakanlığı'nda toplanması yerel yönetimlerin ve diğer kamusal denetim mekanizmalarının etkisini azaltabilir. Ormanlık alanlarda çadır ve karavan tesisi gibi kullanımlara izin verilmesinin doğal alanlarda yapılaşma ve yangın baskısı doğurabileceği de öne sürülmüştür (TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, 2021). Bu kaygılar, yalnızca siyasal itiraz biçiminde kalmamış; düzenlemenin dayandığı ikincil mevzuatın yetki sınırları da yargıya taşınmıştır. TMMOB Mimarlar Odası'nın açtığı dava sonucunda, Turizm Tesisleri Uygulama Yönetmeliği'nin kanunun Bakanlığa verdiği yetki sınırını aştığı gerekçesiyle yürütmesi durdurulmuştur (TMMOB,2020). Bu karar doğrudan 7334 sayılı Kanun'un iptali anlamına gelmez; ancak planlama ve düzenleme yetkisinin kapsamına ilişkin hukuki belirsizliğin toplumsal eleştirilere konu olduğunu gösterir.

Eleştirilerin karşısında turizm yatırımlarının ülke ekonomisine, istihdama ve turizmin çeşitlendirilmesine katkı sağlayacağı savunusu yer alır. Akademik değerlendirme bakımından belirleyici soru, turizm gelirinin artırılması değil, bu amaca hangi alanlarda, hangi çevresel sınırlar içinde ve yerel halkın katılımıyla ulaşılacağıdır. Doğal ve kültürel varlıkların ekonomik kullanımının kısa vadeli gelir hedeflerine bağlanması, kamu yararının yalnızca yatırım ve istihdam üzerinden tanımlanması riskini taşır. Ormanları ve turistik kıyıları salt bir rant alanı olarak görmek Anayasa'nın "Ormanların Korunması ve Geliştirilmesi"ni düzenleyen 169. maddesine açıkça aykırıdır.

2019–2023 döneminde 2634 sayılı Turizmi Teşvik Kanununda yapılan değişiklikler, turizm yatırımlarının arazi tabanını genişletmiş; özellikle orman niteliğindeki Hazine taşınmazları, ormanlık alanlar, mesire yerleri ve belirli millî park alanlarındaki mevcut kullanım ilişkilerini turizm mevzuatıyla ilişkilendirmiştir. Bu süreçte turizm amaçlı tahsis ve kullanım mekanizmalarının genişletilmesi, doğal ekosistemlerin korunmasına ilişkin sektörel mevzuat ile turizm yatırımlarının teşviki arasındaki gerilimi artırmıştır. Özellikle 7334 sayılı Kanun ile getirilen düzenlemeler, orman ve millî park alanlarında mevcut ve yeni turizm kullanımlarının hukuki çerçevesini genişletmesi nedeniyle bu dönüşümün en önemli aşamasını oluşturmaktadır.

Turizm gelirlerinin ülke ekonomisine doğrudan katkısı ile ekonomik kalkınmanın yanı sıra, planlı gelişme ve yaratacağı istihdam ve kültürel olarak ülkenin uluslararası planda tanıtımına sağlayacağı katkı dikkate alındığında turizm yatırımlarında kamu yararı bulunduğu kuşku götürmemektedir. Buna karşın kamu malı niteliğinde olan orman alanlarının turizm yatırımları amacıyla kullanımında gerek kanuni düzenlemeler gerekse Anayasa Mahkemesi içtihadında turizm yatırımları topyekûn bir kalkınma hamlesi olarak değerlendirilmek suretiyle ekonomik kamu yararına öncelik verilmemekte; ormanların korunması ve geliştirilmesine ilişkin Anayasa'nın 169. maddesi uyarınca yararlanma rejiminde aranan kamu yararı, zaruret veya kaçınılmazlık ilkesi ile birlikte değerlendirilerek bu alanlardan yararlanma rejiminde koruma-kullanım dengesi gözetilmektedir (Sümer ve Üstün, 2021). Bu bakımdan 2634 sayılı Kanun'un temel zayıflığı turizmin varlığı değildir. Asıl sorun, turizm tahsisi ve yatırım kolaylaştırmasının alanın biyolojik çeşitlilik hedeflerine tabi kılındığının her durumda açık ve güçlü biçimde güvence altına alınmamış olmasıdır.

2.3 7552 Sayılı İklim Kanunu hakkındaki Eleştiriler

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

7552 sayılı İklim Kanunu, 2 Temmuz 2025'te kabul edilmiş ve 9 Temmuz 2025'te yayımlanmıştır. Kanunun amacı, yeşil büyüme ve net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda iklim değişikliğiyle mücadeledir. Düzenleme; sera gazı azaltımı ve iklim değişikliğine uyum faaliyetleri yanında planlama, izin, denetim, gelir ve emisyon ticaret sistemi için yasal bir çerçeve kurar (TBMM, 2025). İklim kanunu bir ihtiyaç ancak Meclis'te onaylanan iklim kanunu bu ihtiyacı karşılamıyor. Bir iklim kanunu için en kritik olan mutlak azaltım hedefi, fosil yakıtlardan çıkış planı, adil geçiş mekanizması gibi konular kanunda yer almıyor.

7552 sayılı İklim Kanunu, gerçekten iklim değişikliği ile mücadele ya da uyum konularına destek olacak ekolojik dönüşüm metninden ziyade ağırlıklı olarak bir karbon ticareti ve piyasa düzenlemesi olduğu gerekçesiyle bilim insanları, hukukçular ve sivil toplum kuruluşları tarafından yoğun şekilde eleştirilmektedir.

Kanuna yönelik eleştiriler iki grupta toplanabilir. İlk grup, kanunun iklim politikası açısından yeterince bağlayıcı azaltım hedefleri, sektörel takvimler ve fosil yakıtlardan çıkış planı içermediğini savunmaktadır. Bu eleştiride net sıfır hedefinin varlığı, ara dönemlerde hangi sektörün ne kadar azaltım yapacağını gösteren açık yükümlülüklerle desteklenmediği sürece sınırlı kalır. İkinci grup ise kanunun emisyon ticareti ve karbon piyasası gibi piyasa temelli araçlara ağırlık verirken iklim adaletini, kırılgan grupların korunmasını, su kaynakları ve doğal alanları ikincil planda bırakabileceğini ileri sürmektedir. Köse'nin (2025) kanunun yasama sürecini ve eleştirileri inceleyen çalışması, tartışmanın özellikle emisyon ticaret sisteminin tasarımı ve piyasa işletmecisinin konumu üzerinde yoğunlaştığını aktarır. Büyük enerji üreticileriyle ilişkili bir kurumun piyasa işletmeciliği yapmasının çıkar çatışması doğurabileceği; tahsisatların spekülatif finansal araçlara dönüşebileceği belirtilmiştir. Aynı çalışmada, fosil yakıt kullanımı için son tarih bulunmaması, tarım ve gıda sektörlerine ilişkin somut politika eksikliği ve su ile doğal alanların korunmasına yönelik hükümlerin yetersizliği de eleştiri başlıkları arasındadır. Bu eleştiriler, kanunun iklim eylemine yönelik kurumsal bir başlangıç oluşturmadığını değil, çerçevenin hedef ve uygulama araçları bakımından eksik bulunduğunu ifade eder. Nitekim akademik analiz, emisyon hedeflerinin ve adil geçiş mekanizmalarının ikincil mevzuatla somutlaştırılması gerektiğini vurgular (Köse, 2025). Bu nedenle kamuoyundaki temel beklenti, yalnızca karbon piyasasının kurulması değil; hedeflerin ölçülebilirliği, karar süreçlerine bilimsel ve toplumsal katılım, etkilenecek çalışan ve topluluklar için güvence ve uygulamanın şeffaf biçimde izlenmesidir. Önemli sivil toplum kuruluşlarından biri olan Gr**eenpeace Türkiye'ye göre, onaylanan İklim Kanunu'nda pek çok eksiklik vardır (Alpay, 2025).**

Öncelikle kanunun yapım şeklinin katılımcılık ve şeffaflıktan uzak şekilde gerçekleştiği konusunda kamuoyunda ortak bir düşünce var. Kanunda 2053 net sıfır hedefi ve buna ulaşmayı sağlayacak ara dönem hedeflerine yer verilmediği halde iklim krizi ile mücadelenin ilk önemli adımı olarak sera gazı salımlarının azaltılması için bağlayıcı hedefler konulmuş. Bu durumda hedefe ulaşmak için kömür başta olmak üzere fosil yakıtlardan çıkış için bir takvim belirlenmesi gerekiyor ne böyle bir taahhüt ne de çıkış planı var. Fosil yakıtlardan çıkış sürecinde etkilenecek kırılgan gruplar için adil geçişe yönelik herhangi bir mekanizma kanunda yer almıyor. Biyoçeşitliliğin korunması ve korunan alanların artırılması ve başkaca doğal çözümler özellikle iklim değişikliğine uyum konusunda kuşkusuz büyük öneme sahip. Bu nedenle iklim

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

kanununda bu kapsamda somut hükümler olması gerekirdi ancak biyoçeşitliliğe ilişkin herhangi bir hedef kanunda yer almamaktadır.

2.4 7554 Sayılı sayılı Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun Eleştirileri

Kanun 19 Temmuz 2025 tarihinde kabul edilmiş ve 24 Temmuz 2025 tarihinde yayımlanmıştır. Kanun Çevre Kanunu, **Maden Kanunu, Elektrik Piyasası Kanunu, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun** gibi temel mevzuatta önemli değişiklikler yapmaktadır. Şimdiye kadar en fazla en sert şekilde eleştirilen torba yasalardan biri olan 7554 sayılı Kanun tartışılmaya devam ediliyor.

Canbazoğlu ve Yıldız (2025), hangi sahaların ihaleye çıkarılacağına ilişkin idari takdirin açık ve öngörülebilir ölçütlere dayanması gerektiğini, ölçütlerin şeffaf olması, hukuki belirsizliği azaltması ve yargı denetimine elverişli olması gerektiğini; düzenleme taslağının tanımı genişletse de bu ölçütleri yeterince belirlemediğini bildirmektedir. Bu genel özet yasa ile ilgili tartışmaların geniş bir yelpazeye yayıldığını göstermektedir.

7554 sayılı yasanın temel tartışmalarından biri madencilik yatırımlarındaki izin süreçlerinin kolaylaştırılması ve hızlandırılmasıdır. ÇED sürecinde ilgili kurumların görüş bildirmeleri için süreler belirlenmiş; süre içinde görüş bildirmeyen kurumların özellikle ÇED ile ilgili görüşlerinin olumlu kabul edilmesi yaklaşımı getirilmiştir. Söz konusu yaklaşım kurumların ÇED aşamasında olumsuz görüş verebilmelerinin önünü baştan kesmektedir ki bu hüküm çevresel karar alma sürecinde önemli sonuçlar doğurabilecek niteliktedir. Aslında adı konmadan ÇED süreci fiilen ortadan kaldırılmış olmaktadır. Burada ÇED'in nedensellikleri de ortadan kaldırılmış ve gereksiz konuma çekilmiştir. Özellikle biyolojik çeşitlilik ve mevsimsel saha araştırmalarının gerekli olduğu projelerde idare sessiz kalarak ÇED sürecine kolaylıkla onay vermiş olmaktadır.

Diğer yandan 7554 ile devlet ormanlarında maden arama ve işletme faaliyetlerine ilişkin izin rejiminde çok önemli kolaylıklar getirilmektedir. Madencilikte kullanılacak yol, enerji, su, haberleşme gibi altyapı tesislerinin de izin sistemine dahil edilmesi, madencilik etkisinin yalnızca ocak veya işletme sahasıyla sınırlı olmadığını göstermektedir. Ekolojik açıdan bu büyük sorunlar çıkaracak bir hükümdür. Dünyada korunan alanlarının sınıflamasını belirleyen referans örgüt IUCN, özellikle yüksek koruma değerine sahip alanlarda madencilik konusunda oldukça ihtiyatlıdır. IUCN'in çok tanınmış uzmanlarından Dudley (2008), IUCN korunan alan kategorileri I–IV için mineral kaynaklarının aranması ve çıkarılmasının yasaklanmasını isteyen uluslararası bir önerme sunmaktadır. Dolayısıyla 7554'ün yatırım izinlerini hızlandıran yaklaşımı doğa koruma prensipleri ile ciddi çatışma durumu doğurmaktadır. 7554'ün en tartışmalı yönlerinden biri, ruhsat düzenlendikten sonra alanın sonradan izne tabi hale gelmesi durumunda madencilik faaliyetinin devamına ilişkin hükümdür.

Bazı özel ekosistemlerin koruma değeri zaman içerisinde yapılan bilimsel çalışmalarla daha iyi anlaşılabilir; yeni flora ya da fauna türleri veya habitat tipleri tespit edilebilir; alan çok önemli tedavi edici türlerin yaşam alanı ya da benzer özellikleri belirlenebilir. Bu mekân için daha sonra kazanılmış koruma statüsünün, şirketlere verilmiş mevcut ekonomik hakların/imtiyazların doğrudan yeni yasal koruma kararından üstün tutulması, gerçek koruma yönetimi anlayışıyla doğrudan tezat oluşturabilir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

7554 sayılı Kanun kimi zaman maden yasası kimi zaman zeytin yasası kimi zaman da süper izin yasası olarak adlandırıldı. Bu düzenleme ile belirli koşullar altında zeytinliklerde madencilik faaliyetlerine izin verilmesine ilişkin hükümler de konmuştur. Ağaçların taşınması veya başka alanda daha fazla sayıda zeytin ağacı dikilmesi gibi koruma biyolojisine aykırı, bitki ekolojisine uyumsuz sözde telafi mekanizmaları öngörülmektedir. Kuşkusuz bu teklif, ekosistem ile doğrudan ağaç sayısın eşdeğer tutan çok yanlış bir önermedir ve yanlış bir kabuldür. Diğer yandan 7552 ve 7554 sayılı kanunların yalnızca birkaç hafta arayla kabul edilmiş olması da çok dikkat çekicidir. İklim Kanunu (7552), korunan alanların niteliğinin ve oranının yükseltilmesini, biyolojik çeşitliliğin korunmasını, ekosistem uyumunu ve doğa temelli çözümleri önerirken 7554 sayılı Torba Kanun, maden ve enerji yatırımlarının izin süreçlerinin hızlandırılması, ÇED sürecini denetleme yoksunu yapmasını, belirli idari görüşlerin süreye bağlanması ve doğal alanlarda yatırım izinlerinin kolaylaştırılması yönünde ilkine tezat hükümler getirmektedir. İyi planlanmış bir sistemde yenilenebilir enerji ve hammadde ihtiyacı biyolojik çeşitlilik hedefleriyle birlikte yönetilebilir. Ancak bunun için önce yüksek biyolojik çeşitlilik değerine sahip alanlardan kaçınılmak gerekir, bu olanaksız ise etkiler en aza indirilmeli, telafi ise yalnızca son seçenek olarak kullanılmalıdır. 7554'ün uygulanmasında bu hiyerarşi açık biçimde benimsenmediği ölçüde 7552'nin ekosistem ve korunan alan hedeflerinin gerçekleştirilmesi olanaksızlaşır.

2.5 7576 sayılı Milli Parklar Kanunu ve Bazı Kanunlar ile 375 Sayılı Kanun Hükmünde Kararnamede Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun

Milli Parklar Kanunu ve Bazı Kanunlar ile 375 Sayılı Kanun Hükmünde Kararnamede Değişiklik Yapılmasına Dair 7576 sayılı **Kanun,** 19 Mart 2026 tarihli ve 33201 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir ve Millî Parklar Kanunu başta olmak üzere çevre ve avcılık mevzuatında değişiklik yapmıştır (Resmi Gazete 2026). Teklif aşamasında da yürürlüğe girmesinden sonra da tartışmalara konu olan bir yasadır.

Genel olarak eleştiriler, korunan alanlarda altyapı ve ticari kullanım izinlerinin kapsamı, kararların merkezileşmesi, kurumun gelir yapısı ve avcılık hükümleri üzerinde yoğunlaşıyor. Bakanlık düzenlemenin denetim ve yaptırımları güçlendirmeyi amaçladığını açıklamıştır.

Başlıca Eleştiriler açısından bakıldığında öncelikle Doğal Alanların Ticarete Açılması endişesi öne çıkarılmaktadır. Türkiye'de özellikle doğa ve çevre korumaya odaklanmış sivil toplum kuruluşları, kanunun korunan alanları "koruma" statüsünden çıkarıp turizm, enerji ve madencilik projelerine zemin hazırlayan bir "işletme" yapısına dönüştürdüğünü savunmaktadır. Turistik tesislerin ve alanların özel şirketlere bazı koşullarda 99 yıla kadar varan sürelerle tahsis edilebilmesinin, kamu yararını ikinci plana atılarak özel çıkarları önceledeği düşüncesini öne çıkarmaktadır. Diğer yandan Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nün (DKMPGM) merkezileştirilerek döner sermayeli bir kuruluşa dönüştürülmesi; milli parkların, ormanların ve su havzalarının bütçe açığını kapatma veya gelir elde etme aracı haline getirileceği endişesini doğurmuştur.

En başından beri Kanun teklifine en sert eleştirileri yapan, ormancılık ve doğa koruma konularının en etkin sivil toplum kuruluşlarından biri olan Türkiye Ormancılar Derneği düzenlemenin milli parkları koruma alanı olmaktan çıkarıp turizm, enerji ve madencilik projelerine açacağını belirterek teklifin geri çekilmesini istemişti (TOD, 2026).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Dernek, "Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde görüşülmekte olan Milli Parklar Kanunu'nda değişiklik öngören teklif, ülkemizin en değerli doğal alanlarını korumak yerine, bu alanları turizm, enerji, madencilik ve ticari faaliyetlere açan bir anlayışla hazırlanmıştır. Teklif; Anayasa hükümleriyle, uluslararası sözleşmelerle ve doğa koruma hukukunun temel ilkeleriyle açık biçimde çelişmektedir. Bu düzenleme, milli parkları koruma alanı olmaktan çıkarıp işletme alanına dönüştürmektedir. Milli Parklar Kanunu Teklifi Geri Çekilmelidir" demektedir.

TOD, Anayasal Korumanın Zayıflatıldığı; 63, 168 ve 169. Maddelerinin amir hükümlerinin devre dışı bırakıldığını, kamusal mülkiyet altındaki doğal varlıkların özel şirketlere tahsisine kapı aralamakta olduğunu, Planlama İlkeleri ve bilimsel yönetimin yok sayıldığını, Milli parklar yönetiminin temel aracı olan uzun devreli gelişme planlarını işlevsiz hale getirmekte olduğunu, "Mutlak koruma zonunda bilimsel araştırmanın dışında hiçbir işlem yapılamaz" ilkesi yok sayıldığını, iddia etmekte ve "av kaynaklarının milli ekonomiye faydalı olacak şekilde değerlendirilmesi" ifadesinin canlı yaşamını ekonomik bir meta olarak gören sakıncalı bir anlayışı yansıttığını belirtmektedir.

Ormanlar ve korunan alanların ülkemizin en önemli doğal savunma mekanizmaları olmaları hasebiyle milli parkların yapılaşmaya açılmasının su rejimini bozacak, karbon yutaklarını zayıflatacak, ekosistem sürekliliğini kırılgan hale getirecek işlemler olduğu da diğer eleştiri konularıdır.

Bu nedenle teklif, yalnızca çevresel değil, ulusal güvenlik ve gelecek kuşakların yaşam hakkı açısından da ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Diğer yandan değişiklikler getiren 7576 sayılı Kanunun olumlu sonuçları olduğu da kamuoyunda sıkça dile getirilmektedir. Şöyle k; Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğünün biyolojik çeşitlilik, sulak alanlar ve belirli çevre ihlalleri bakımından denetim ve yaptırım kapasitesinin güçlendirilmesi; "av ve doğa koruma memuru" kavramının hukuki sisteme eklenmesi ve korunan alan yönetimi için gerekli projelerin Genel Müdürlük tarafından hazırlanabilmesi olumlu yönlerdir. Hatta bu düzenlemelerin, IUCN'nin korunan alanlarda kurumsal kapasite ve etkili yönetim yaklaşımıyla uyumlu olduğu söylenebilir (Dudley, 2008; Borrini-Feyerabend et al., 2013).

Bununla birlikte kanunun en önemli düzenlemelerinden biri milli park ve tabiat parklarında belirli altyapı tesislerine izin verilmesidir. Planlara uygunluk, kamu yararı ve zaruret şartları altında; ulaşım, elektrik iletim ve nakil hatları, petrol ve doğal gaz iletim hatları, trafo, haberleşme, su ve termal su, atık su ve ilişkili altyapı için gerçek kişiler ve özel hukuk tüzel kişileri lehine izin verilebilmesi öngörülmüştür (7576 sayılı Kanun, 2026). Burada dikkat edilmesi gereken nokta, kanunun milli parkları doğrudan madenciliğe açtığı şeklinde yorumlanmasının hukuken isabetli olmayacağıdır. Düzenleme doğrudan maden işletme izni getirmemektedir. Bununla birlikte, enerji ve ulaştırma altyapısının milli parklar içerisinde hukuki izin konusu yapılması koruma biyolojisi açısından önemli bir sorundur. Yol ve doğrusal altyapılar habitat parçalanmasına, yaban hayatı ölümlerine, insan erişiminin artmasına, istilacı türlerin yayılmasına ve kenar etkilerine yol açabilir. Bu nedenle tesisin fiziksel ayak izinin küçük olması ekolojik etkinin de küçük olduğu anlamına gelmemektedir. Özellikle büyük kentlerdeki içme suyu sorunu belli ki 7576 sayılı yasaya da yansımış, içme suyu temini açısından aciliyet gösteren, kamu yararı bakımından vazgeçilmez ve kesin zorunluluk taşıyan bazı tesislerde uzun devreli gelişme planı veya gelişme planı şartının aranmayabileceği öngörülmüştür. Bu hüküm kamu sağlığı ve içme suyu güvenliği açısından anlaşılabilir bir

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır. Ancak korunan alan yönetimi bakımından planlama önceliği açısından dikkatle değerlendirilmelidir. IUCN'nin modern korunan alan yönetimi yaklaşımında yönetim planı, yalnızca bürokratik bir belge değil, alanın hangi değerlerinin nerede ve nasıl korunacağını belirleyen temel araçtır. Acil durum istisnalarının yaygınlaşması durumunda planın yönlendirici işlevi zayıflayabilir.

7576'nın bir diğer önemli boyutu milli parklar ve diğer korunan alanlardaki turizm faaliyetleriyle ilgilidir. Korunan alan turizmi uluslararası doğa koruma yaklaşımında bütünüyle olumsuz bir faaliyet değildir. Kuşkusuz turizm iyi yönetilirse, koruma finansmanı sağlayabilir, yerel ekonomileri destekleyebilir ve toplumun korunan alanlarla bağını güçlendirebilir. IUCN'ye göre turizm faaliyetleri alanın koruma amaçlarına tabi olmalı; ziyaretçi kullanımı ekolojik taşıma kapasitesini aşmamalı; altyapı gelişimi habitat bütünlüğünü bozmamalı ve etkiler düzenli olarak izlenmelidir (Leung et al., 2018).

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada incelenen düzenlemeler (6831 sayılı Orman Kanunu'nun Ek 16. maddesi, 2634 sayılı Turizmi Teşvik Kanunu'nda 2021'de yapılan değişiklikler, 7552 sayılı İklim Kanunu, 7554 sayılı Kanun ve 7576 sayılı Kanun) Türkiye'de koruma mevzuatına ilişkin tek yönlü bir eğilim göstermemektedir. Bir yanda orman rejimi ve korunan alanlardan yatırım amaçlı tahsis yolları genişletilmekte öte yanda korunan alanlarda denetim, yaptırım ve ziyaretçi yönetimi araçları görece güçlendirilmektedir. Yapılan düzenlemelerdeki en önemli ortak nokta, her iki yönlü karar yetkisinin merkezî idarede toplanmasıdır. Orman Kanunu Ek-16 bu eğilimin en belirgin örneğidir. Madde, 7139 sayılı Kanun'la eklenmiş ve orman olarak korunmasında yarar görülmeyen alanlarla yerleşim yeri bulunan veya oluşturulması uygun olan alanların orman sınırları dışına çıkarılmasına olanak tanımıştır (Orman Kanunu, 1956; Aşkan, 2018). Sınırların belirlenmesi Cumhurbaşkanı kararına bağlanmıştır (Orman Sınırları Dışına Çıkarma İşlemlerine İlişkin Yönetmelik, 2021). Türkiye Ormancılar Derneği'ne (2024) göre madde bugüne kadar yaklaşık 3.500 hektarlık alanın sınır dışına çıkarılmasına yol açmıştır ve yasal bir zaman sınırı bulunmamaktadır. Aynı kaynak, İzmir Bayraklı'da Danıştay'ın 2023'te iptal ettiği bir kararın kapsadığı alanın 2024'te yeniden sınır dışına çıkarıldığını ve bu alanın bir bölümünün yangında zarar gördüğünü belirtmektedir. Buna göre idari kararlar, Anayasa'nın 169. maddesindeki yanan ormanlara ilişkin hükümle de bağdaşmayan bir çatışma ortaya çıkarmaktadır. Düzenlemenin Anayasa'ya aykırı olduğu görüşü neredeyse anonim bir bilgi haline gelmiştir. Bu görüşler büyük ölçüde meslek örgütlerinden ve basından geldiği için çalışmada tek yönlü bir değerlendirme olarak ele alınabilir ancak bu eleştirideki benzerlikler toplumun ortak kanaati halini aldığı da gözden kaçırılmamalıdır.

Turizm düzenlemeleri de benzer bir yetki toplulaştırmasına işaret etmektedir. 2634 sayılı Kanun'a eklenen geçici 12. madde, orman sayılan alanlar ve milli parklar üzerinde turizm yatırımı amacıyla yapılacak tahsisin münhasıran Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından yürütüleceğini hükme bağlamıştır (Turizmi Teşvik Kanunu ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun [7334 sayılı Kanun], 2021). Bu düzenleme, geçici madde tekniğinin geçiş dönemini düzenlemenin ötesinde kalıcı bir yetki devrine de aracılık edebildiğini göstermektedir. Aynı dönemde 7554 sayılı Kanun, devlet ormanlarında madencilik faaliyetleri için zorunlu tesis ve altyapıya bedelsiz izin verilmesini öngörmüş ve stratejik madenler için

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

acele kamulaştırma yolunu açmıştır (7554 sayılı Kanun, 2025). Teklif aşamasında Çanakkale Barosu bu düzenlemenin Anayasa'nın 44, 45, 56, 63 ve 169. maddelerine aykırı olduğunu ileri sürmüştür. Bu hükümlerin torba kanun yoluyla çıkarılması, yasama sürecinin niteliğini de tartışmaya açmaktadır ki torba kanunlar çoğunlukla temel kanun olarak ve hızlandırılmış usulle görüşülmekte, konular arası bağlantı zayıflamaktadır (Yeşilırmak, 2023; İba, 2024). Öte yandan madencilik faaliyetlerinin korunan alanlar veya statüsü olmayan doğal ekosistemler üzerindeki etkisi yalnızca doğrudan habitat kaybından da oluşmaz. Yol yapımı, enerji iletim hatları, hafriyat alanları, atık barajları ve diğer altyapı habitat parçalanmasını artırabilir, kenar etkileri oluşturabilir, insan erişimini kolaylaştırarak dolaylı zararları da artırabilir.

7576 sayılı Kanun ise farklı bir yönde değişiklik getirmiştir. Kanunla Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'ne denetim ve idari yaptırım yetkisi verilmiş, tescil yasağı kapsamındaki yapıların doğrudan yıkımı öngörülmüş, giriş ücretine ilişkin yaptırımlar ve döner sermaye araçları düzenlenmiş, ayrıca yöre insanları arasından yetiştirilecek "alan kılavuzu" tanımı getirilmiştir (Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, 2026). Bu araçlar, turizmin korunan alan değerleriyle bağı güçlendirebileceği ve ekonomik faydalarının korumaya destek sağlayabileceği yönündeki yaklaşımla (Leung vd., 2018) uyumlu bir potansiyel taşımaktadır. Ancak aynı kanunda içme suyu tesisleri için uzun devreli gelişme planı şartı aranmaması gibi istisnalar da bulunmaktadır (Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, 2026). Kanun teklifine yönelik eleştiriler, korunan alanlardaki izin süreçlerinin özel kişi ve şirketler lehine yeniden düzenlendiğini ve yaban hayatı ve habitatların korunmasını zayıflattığını öne sürmektedir. Bu noktada tartışmaya değer bir eşgüdüm sorunu ortaya çıkmaktadır: ziyaretçi yönetimi ve planlama araçları korunan alan kurumunda toplanırken, turizm tahsisi başka bir bakanlıkta toplanmıştır. Bu iki yetkinin birbirini nasıl dengelediği, mevzuat düzeyinde değil uygulama düzeyinde sınanmadan değiştirilmelidir. Bir tarafta koruma diğer tarafta yatırım tahsisi uygulamada pek çok sorun doğurmakta ve daima yatırım (uygulama) galebe çalmaktadır.

İklim Kanunu bu tabloya başka bir boyut eklemektedir. Kanun, iklim değişikliğiyle mücadeleyi emisyon ticaret sistemi, denkleştirme ve iklim finansmanı gibi piyasa temelli araçlar üzerinden tanımlamaktadır. Kanunu teklif aşamasından beri değerlendirenler, düzenlemeyi öncelikle AB Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'nın ihracatçılara getireceği yükü azaltmayı amaçlayan faydacı bir araç olarak nitelendirdi. Bu çalışma kapsamında incelenen hükümler açısından, iklim politikasının korunan alan ve orman yönetimiyle ilişkisinin kanun düzeyinde ne ölçüde kurulduğu ayrıca incelenmelidir. Küresel düzeyde ise Kunming-Montréal Çerçevesi, bozulmuş ekosistemlerin en az %30'unun restorasyonunu ve alanların en az %30'unun etkin korunmasını hedeflemektedir (Convention on Biological Diversity, 2022). Oysa orman sınırlarının daraltılması ve niteliğinin bozulmasına yol açan düzenlemeler, bu hedeflerle birlikte okunduğunda ulusal ve küresel taahhütler arasındaki uyum nerede? sorusunu gündeme getirmektedir.

Yönetim açısından bakıldığında, incelenen düzenlemelerin ağırlıklı olarak kamu yönetimini daha da pekiştirdiği görülmektedir. Alan kılavuzu uygulaması yerel halkı sürece dahil etse de karar yetkisi daima merkezde kalmaktadır. Oysa korunan alan yönetişimi literatüründe meşruiyet, söz hakkı, hesap verebilirlik ve adalet gibi ilkeler iyi yönetişimin ölçütleri olarak öne çıkmaktadır (Borrini-Feyerabend vd., 2013). 7554 ve 7576 sayılı kanunlar yakın zamanda

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

yürürlüğe girdiği için uygulama etkileri ve yargı denetimi henüz sınırlıdır. Gelecek çalışmalar, sınır dışına çıkarılan alanların ekolojik niteliğini, turizm tahsislerinin mekânsal dağılımını ve yeni yaptırım araçlarının etkinliğini sahaya dayalı verilerle incelemelidir. Narin (2025) de bu konuya değinmekte ve benzer bir çalışmasında "orman politikalarının Meclis'teki tartışmalarda ideolojik ayrışmalarla şekillendiğini ve söylemlerin siyasi argümanlara dayandığı görülmektedir. Kapitalist ekonomik anlayışlar nedeniyle ormanlar üzerine büyük yük oluşturulduğu, ormanların tarihsel olarak siyasi bir rant aracı olarak görüldüğü ve orman sayılan yerleri daraltan yasal düzenlemelerin yapıldığı görülmektedir ve bu tür değişikliklerin etkilerinin izlenmesi gerekmektedir" şeklinde durumu ifade etmektedir. Ormanlar sürdürülebilirlik kavramının çıkmasına neden olan ve insanlarla ilişkilerinden sürekli olarak en fazla zarar görmeye devam eden ekosistemlerden biridir. Nitekim 2023 yılında küresel GSYİH'nin yarısına karşılık gelen yaklaşık 58 trilyon dolarlık ekonomik değer, doğaya bağımlı faaliyetlerden elde edildi. Biyolojik çeşitlilik tahrip edildiğinde ise ona dayanan tüm sistemler de bundan zarar görüyor (WWF, 2026). Ormanlar dünya kara yüzeyinin yaklaşık yüzde 32'sini (4,14 milyar Ha) kaplar, 714 gigaton karbon depolar ve dünya karasal biyolojik çeşitliliğinin yüzde 80 kadarını barındırır (FAO, 2026). Ayrıca, küresel nüfusun yaklaşık üçte biri, gıda güvenliği ve geçim kaynakları için ormanlara ve ağaçlara bağımlıdır. Tüm bu kritik yararlar ekosistem hizmetleri ile üretilmektedir. Yapılan koruma çalışmaları fayda sağlasa da yine de ormansızlaşma ve arazi bozulması devam ediyor. Kayıp oranı yavaşlasa da 1990'dan bu yana ormansızlaşma nedeniyle dünya çapında tahmini 489 milyon hektar orman kayboldu. Bugün, 460 milyon hektar orman arazisi de dahil olmak üzere dünya çapında 1,56 milyar hektar arazi bozuldu. Aynı zamanda, rahatsızlıklar küresel olarak yoğunlaşıyor: her yıl yaklaşık 127 milyon hektar orman yangınlardan etkileniyor ve böcekler, hastalıklar ve şiddetli hava olayları en az 50 milyon hektar ormana zarar veriyor (FAO, 2026).

Ülkemizdeki olumsuz gelişmeler de Dünyadakine benzer şekildedir. Türkiye'de ormanların başka amaçlara tahsis edilmesi son hızla devam etmektedir. Tahsis miktarı 2020 yılı sonu itibarıyla 748.000 hektardan 2025 sonu itibarıyla 970.045 hektara ulaşmış, madencilikten enerjiye, turizmden konuta ve ulaştırmaya büyük bir orman alanı ormancılık dışı faaliyetlere ayrılmış durumdadır (OGM, 2026). Özellikle 2004-2020 yılları arasında yapılan tahsis miktarı 494.000 hektardır ve tüm zamanlarda yapılan tahsislerin %66'sına karşılık gelmektedir. Bu dönemde yapılan yıllık ortalama orman tahsis miktarı yaklaşık 29.000 hektarken son beş yılda (2016-2020) ise yaklaşık 39.000 hektara ulaşmıştır. (TOD, 2022). 2016 yılına kadar yılda 16 milyon m^3 civarında olan ağaç kesimi de günümüzde 30 milyon m^3 civarına ulaşmıştır (OGM, 2025). Orman bozulması azalması yanında ve ekosistem tahribatı konusunda ne yazık ki güzel Ülkemizin karnesi de kırık notlarla dolu durumdadır. Son yıllarda dikkatle takip edilen Yale Üniversitesi'nin Çevresel Performans Endeksi'ne (EPI) göre 2026 yılında Türkiye 177 ülke arasında 125. sırada ve genel puanı 34,32. Son 10 yıldaki değişim biraz olumlu (+3,82) olsa da biyoçeşitlilik ve ekosistem göstergelerinde dünyanın en alt sıralarında yer alıyor. Türkiye, Yale'in raporunda Doğu Avrupa Bölgesinde 19. sırada. Türkiye genel puanı (34.32) ile bölgenin ortalama genel puanının (54,93) belirgin biçimde altında görünüyor. Yale, karasal biyom korumasını ise Kunming-Montréal Çerçevesi'nin Hedef 3 eşiğine (her biyomun en az %30'unun korunması) göre puanlıyor. Türkiye bu göstergede 177. sırada, yani listenin sondan ikincisi (Wendling et al., 2026). Yale EPI göstergelerinin çoğu 2024 verilerine dayanmaktadır.

Bu nedenle 2025 ve 2026 yıllarında çıkarılan, çevresel açıdan çok tartışmalı yasal değişiklikler (7554 ve 7576 sayılı kanunlar gibi) bu sıralamaya henüz yansımış değildir.
Türkiye küresel ölçekte önemli üç biyoçeşitlilik sıcak noktasının kesiştiği yerde bulunuyor. Kuşkusuz kalkınma ve refah her ülkenin sahip olmak için çabaladığı modern dünya yaklaşımlarıdır. Ancak varlığına bütünüyle muhtaç olduğumuz doğal ekosistemleri koruyarak kullanmak, iklim değişikliği şartlarını her yatırımın ayrılmaz parçası yapmak ve doğaya şiddeti azaltmak zorunluluğumuz var. Doğal varlıklarımız parasızlığın ve geri kalmışlığın panzehiri sayılarak hoyratça tüketilmemelidir. Bu bizim için en büyük yanılgı olur.

4. KAYNAKÇA

6831 Sayılı Orman Kanununun Ek 16 ncı Maddesi Kapsamında Orman Sınırları Dışına Çıkarma İşlemlerine İlişkin Yönetmelik, Karar Sayısı 3413, Resmî Gazete 31357 (2021, 7 Ocak). https://mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/21.5.3413.pdf

Alpay, E. T. (2025). *10 soruda dünyada ve Türkiye'de İklim Kanunu*. Greenpeace Türkiye. https://www.greenpeace.org/turkey/blog/10-soruda-dunyada-ve-turkiyede-iklim-kanunu/

Anayasa Mahkemesi. (2020, 16 Temmuz). *E. 2018/104, K. 2020/39* [Karar]. https://normkararlarbilgibankasi.anayasa.gov.tr/ND/2020/39

Aşkan, C. (2018, 10 Temmuz). *Orman Kanununda yeni düzenleme; Ek Madde 15, 16 ve 17*. Lexpera Blog. https://blog.lexpera.com.tr/orman-kanununda-yeni-duzenleme-ek-madde-15-16-ve-17/

Atmış, E. (Ed.). (2022). *Türkiye ormancılığı 2022: Türkiye'de ormansızlaşma ve orman bozulması*. Türkiye Ormancılar Derneği.

Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun, Kanun No. 7554, Resmî Gazete 32965 (2025, 24 Temmuz). https://www.alomaliye.com/2025/07/24/7554-sayili-bazi-kanunlarda-degisiklik-yapilmasina-dair-kanun/

Borrini-Feyerabend, G., Dudley, N., Jaeger, T., Lassen, B., Pathak Broome, N., Phillips, A. ve Sandwith, T. (2013). *Governance of protected areas: From understanding to action* (Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 20). IUCN. https://www.iucn.org/content/governance-protected-areas-understanding-action

Canbazoğlu, K. ve Yıldız, T. D. (2025). 7554 sayılı Maden Kanunu'na göre ihale usulünün maden gruplarındaki uygulamalarında değişiklikler ve beklentiler. *Ankara International Congress on Scientific Research-XII: The proceedings book* (ss. 83–84).

Convention on Biological Diversity. (2004). *Guidelines on biodiversity and tourism development*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity.

Convention on Biological Diversity. (2022). *Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework* (Decision 15/4, CBD/COP/DEC/15/4). https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf

Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü. (2026, 23 Mart). *Milli parklara yönelik düzenlemeler Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girdi*. Tarım ve Orman Bakanlığı. https://www.tarimorman.gov.tr/DKMP/Haber/430/Milli-Parklara-Yonelik-Duzenlemeler-Resmi-Gazetede-Yayimlanarak-Yururluge-Girdi

Dudley, N. (Ed.). (2008). *Guidelines for applying protected area management categories*. IUCN. https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2008.PAPS.2.en

Esen Arnwine, S. ve Yeşilırmak, B. (2023). Karşılaştırmalı anayasa hukukunda ve Türkiye'de torba kanun. *Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 72*(2), 643–690. https://dergipark.org.tr/tr/pub/auhfd/article/1280579

FAO. (2026). *The state of the world's forests 2026: Restoring forests and landscapes – The way forward for a sustainable future*. https://doi.org/10.4060/ce0633en

İba, Ş. (2024). Karşılaştırmalı bir parlamento hukuku analizi: "Torba kanun" nedir, ne değildir? *Adalet Dergisi*, (72), 65–84. https://doi.org/10.57083/adaletdergisi.1483962

İklim Kanunu, Kanun No. 7552, Resmî Gazete 32951 (2025, 9 Temmuz). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2025/07/20250709-1.htm

Köse, M. (2025). Türkiye'de iklim krizinin yönetimi: 7552 sayılı İklim Kanunu. *Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, X*(2), 50–79. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/5285990

Leung, Y.-F., Spenceley, A., Hvenegaard, G. ve Buckley, R. (Eds.). (2018). *Tourism and visitor management in protected areas: Guidelines for sustainability* (Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 27). IUCN. https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.PAG.27.en

Milli Parklar Kanunu ve Bazı Kanunlar ile 375 Sayılı Kanun Hükmünde Kararnamede Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun, Kanun No. 7576, Resmî Gazete 33201 (2026, 19 Mart). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2026/03/20260319-25.htm

Narin, T. (2025b). Meclis konuşmalarının eleştirel söylem analizi: 6831 sayılı Orman Kanunu'nun Ek 16'ncı maddesi örneği. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi, 21*(2), 325–339. https://doi.org/10.58816/duzceod.1804903

Orman Genel Müdürlüğü. (2026a). *Orman Genel Müdürlüğü 2025 yılı idare faaliyet raporu*. Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı.

Orman Genel Müdürlüğü. (2026b). *Orman Genel Müdürlüğü 2025 yılı resmi ormancılık istatistikleri*. https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/kitaplik/Ormancilik-istatistikleri

Orman Kanunu, Kanun No. 6831 (1956). https://mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.3.6831.pdf

Sümer, N. ve Üstün, G. (2021). Orman alanlarının turizm yatırımlarına tahsisi konusunda Turizmi Teşvik Kanunu'nda öngörülen değişiklikler. *Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi, 27*(2), 1232–1259. https://doi.org/10.33433/maruhad.996958

Şanlıoğlu, Ö. ve Özcan, E. Ö. (2017). Türkiye'de uygulanan turizm teşvik politikaları ve sonuçları üzerine bir değerlendirme. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 7*(2), 97–118. https://izlik.org/JA92AF77DK

TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi. (2021). *7334 sayılı Turizm Teşvik Kanunu doğayı, ekosistemi ve insanlığın ortak mirasını tehdit etmektedir*. Mimarist. https://www.mimarist.org/7334-sayili-turizm-tesvik-kanunu-dogayi-ekosistemi-ve-insanligin-ortak-mirasini-tehdit-etmektedir/

TMMOB. (2024, 20 Eylül). *Ormanlarımızı yok eden keyfi anlayışı reddediyoruz!* https://www.tmmob.org.tr/icerik/ormanlarimizi-yok-eden-keyfi-anlayisi-reddediyoruz

Turizmi Teşvik Kanunu ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun, Kanun No. 7334, Resmî Gazete 31551 (2021, 28 Temmuz). https://resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/07/20210728-2.htm

Türkiye Ormancılar Derneği. (2022). *Ormansızlaşmanın yeni dayanağı Ek 16* [Basın açıklaması]. https://www.ormancilardernegi.org/Haberdetay?Id=57&T=1

Türkiye Ormancılar Derneği. (2024). *6831 sayılı Orman Kanunu'nun Ek 16'ncı maddesi kaldırılmalıdır* [Basın açıklaması]. Türkiye Ormancılar Derneği Marmara Şubesi. https://www.todmarmara.org.tr/icerik.asp?ID=2520

Türkiye Ormancılar Derneği. (2026). *Milli Parklar Kanunu Teklifi geri çekilmelidir* [Basın açıklaması]. https://www.ormancilardernegi.org/Documents/b7240827-9a71-4e2b-9fcd-699ea3360393.pdf

Wendling, Z. A., Emerson, J. W., Esty, D. C., de Sherbinin, A., Block, S. ve diğerleri. (2026). *2026 Environmental Performance Index*. Yale Center for Environmental Law & Policy. https://epi.yale.edu/2026/results/country/TUR

WWF. (2026). *Living planet report 2026: The science of hope*.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

SAF LADİN ORMANLARINDA KAR ÜZERİNDE SÜRÜTEREK BÖLMEDEN ÇIKARMANIN FİDANLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Assoc. Prof. Dr. Saliha ÜNVER
Karadeniz Technical University,
salihaunver@ktu.edu.tr - 0000-0001-9882-446X
Assoc. Prof. Dr. Oğuz KURDOĞLU
Karadeniz Technical University,
kurdoglu@ktu.edu.tr - 0000-0002-1706-1542

ÖZET

Zemin üzerinde sürütme faaliyetlerinde kalan meşcerede önemli zararlar meydana gelebilmektedir. Özellikle aralama müdahalesi uygulanan üretim birimlerinde, ormanların varlığının ve ormanlardan yararlanmanın sürdürülebilirliği açısından fidanların zarar görmesi en önemli unsurlardan biridir. Bu çalışmada saf doğu ladini ormanlarında kış mevsiminde üretilen tomrukların kar üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarılması sırasında fidanlarda meydana gelen zararların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında kış mevsiminde sürütme yapılan sekiz adet hasat biriminde sürütme güzergahlarının üzerinde ve çevresinde tam alan değerlendirmesi yapılarak fidanlardaki zararlar tespit edilmiştir. Değerlendirme sırasında belirlenen zarar görmüş fidanların çapları ölçülmüş ve gördükleri zararlar tespit edilmiştir. Fidan çapları ile zarar tipleri arasındaki değerlendirmelerde, kalın çaplı fidanlarda genellikle devrilme zararı meydana gelirken, ince çaplı fidanlarda daha çok yan yatma görülmüştür. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda zarar tipleri ile fidan çapları arasında %95 güven düzeyinde ($P<0.05$) farklılık olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: kış üretimi, kar üzerinde sürütme, fidan zararı, ladin

AN ASSESSMENT OF THE EFFECTS OF SNOW-BASED SKIDDING ON THE SEEDLINGS IN PURE SPRUCE FOREST

ABSTRACT

Significant damage can occur in residual stands during ground-based skidding operations. Damage to seedlings is one of the most critical factors affecting the sustainability and utilization of forests, especially in harvesting units where thinning intervention is applied. The objective of this study was to assess the damage that occurred to the seedlings during the extraction of logs produced in the winter season from pure eastern spruce forests by skidding on the snow. Within the scope of the study, a full area assessment was conducted along and around the skidding trails in eight harvesting units where skidding was carried out during the winter season to identify damage to seedlings. The diameters of the damaged seedlings during the assessment were measured, and types of damage they sustained were documented**.** In the analysis of the relationship between seedling diameters and damage types, it was found that thick-diameter seedlings generally suffered uprooting damage, while thin-diameter seedlings suffered from

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

lateral tilting. Statistical analyses revealed a significant difference at the 95% confidence level ($P<0.05$) between damage types and seedling diameters.

Keywords: winter production, skidding on snow, seedling damage, spruce

Giriş

Dünyadaki en büyük karbon yutaklarından biri olan ormanların işletilmesi, sağlıklı ormanların yetiştirilmesinin yanı sıra ormanların sunduğu mal ve hizmetlerin toplumun ihtiyaçlarının karşılanmasını amaçlar. Bu amaçların en doğru şekilde gerçekleştirilebilmesi için sürdürülebilir orman yönetimi ve sürdürülebilir hasat uygulamaları ön plana çıkmıştır. Günümüzde Türkiye'deki ormanlar, üretim, koruma ve rekreatif fonksiyonlar olarak sınıflandırılmakta ve bu fonksiyonlar dikkate alınarak işletilmektedir. Bu fonksiyonlardan en etkin ve yaygın olanı üretim fonksiyonudur.

Türkiye'deki ormanların yaklaşık %40'ı üretim fonksiyonuyla işletilen ormanlar (GDF, 2025) olup üretim ormanlarında son on beş yılda ortalama 20.177.194 m³ endüstriyel odun üretilmiştir (GDF, 2026). Bu ormanlarda her yıl periyodik olarak yapılan orman hasadı ekonomik, ekolojik ve sosyal olmak üzere çok yönlü etkilere sahiptir. Ormanların varlığının ve ormanlardan yararlanmanın sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından bu etkilerden en önemlisi kalan meşcereye verilen zarardır. Ormancılık faaliyetlerinin ekosisteme verdikleri zararların ortaya konulması ve minimize edilmesi sürdürülebilir orman yönetiminin sağlanması açısından öncelikli konular arasında yer alır (Silva vd., 2017; Ünver-Okan vd., 2017).

Orman hasadı, meşcerede kalan ağaç, fidan, toprak, su ve yaban hayvanları gibi pek çok elemana doğrudan ya da dolaylı olarak çeşitli zararlar verebilmektedir (Fortier vd., 2022; Mousavi Mirkala, 2017; Silva vd., 2017). Gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkelerde primer transport tekniklerinden en fazla zemin üzerinde sürütme tekniği kullanılmaktadır. Zemin üzerinde sürütme tekniklerinin kalan meşcereye zararlarının boyutları ve tipleri büyük oranda; hasat mevsimi, orman koşulları, taşınan ürünlerin boyutları ve miktarı, kullanılan teknik ve makineler, silvikültürel metotlar, işçi/operatör deneyimi gibi özelliklere göre değişir (Cudzik vd., 2017; Kizha vd., 2021; Tavankar vd., 2017). Bu etmenlerin en etkili olanlarından biri hasat mevsimidir.

Hasat mevsimine göre odun üretim faaliyetleri yaz hasadı ve kış hasadı olmak üzere iki gruba ayrılır. Kış hasadı, kış koşullarının yoğun olmadığı bölgelerde ve dönemlerde ekim ile mayıs ayları arasında yapılan (Erdaş vd., 2015) ve tomrukların kar üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarıldığı bir tekniktir. Kar üzerinde sürütme, zemin ile tomruk arasındaki sürtünmenin azalması ve tomrukların toprağa ya da köklere takılmaması nedeniyle zemin üzerinde

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

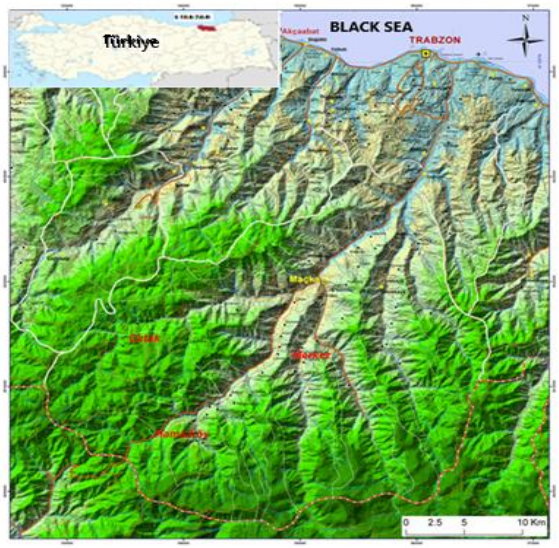
sürütmeye göre daha verimli, kolay ve çevreyle dost bir yöntemdir. Bu yöntemde hasadın vejetasyon dönemi başlamadan önce yapılması, taşınan odunda oluşacak kalite kaybını, kesilen ağaçlardaki kuruma ve çatlama zararlarını, kalan ağaçlarda meydana gelen yaralanmaların neden olacağı böcek-mantar zararlarını, orman toprağının yapısını ve fidanlarda oluşacak zararları azaltmaktadır (Akay vd., 2015). Sürdürülebilir orman yönetimi ve sağlıklı meşcerelerin yetiştirilmesi açısından, bu ekolojik etkilerin en ön plana çıkan fidanlara verilen zararların belirlenmesi ve minimize edilmesi amaçlanmaktadır (Badraghi, 2015). Meşcerenin gelişiminde hasat faaliyetleri sonucu hayatta kalan fidanların sayısı, kalitesi ve mekânsal dağılımı oldukça etkilidir (Surakka vd., 2011).

Literatürde kış hasadı ile ilgili çalışmaların geneli verimlilik, ekonomiklik ve sosyal etkiler üzerinedir (Büyüksakallı, 2010; Gülci vd., 2017; Taş ve Akay, 2020). Ancak kar üzerinde sürütmenin kalan meşcereye etkilerinin değerlendirildiği çalışmalar oldukça sınırlıdır (Tunay ve Çığ, 1994; Ünver, 2008; Eroğlu ve Öztürk, 2008; Acar vd., 2010). Acar vd. (2010) kış mevsiminde Urus MIII forest skyline ile kar üzerinde sürütme uygulanan hasat biriminde fidanlardaki zararı %40 olarak tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada kış mevsiminde saf ladin meşcerelerinde kar üzerinde kontrolsüz sürütme sırasında fidanlarda meydana gelen zararların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Çalışma alanları, Türkiye'nin kuzeydoğusunda kar üzerinde kontrolsüz kaydırma yapılan saf ladin (*Picea orientalis* (L.) Link.) ormanlarında gerçekleştirilmiştir (Şekil1).



Şekil 1. Çalışma alanının genel görünümü

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Hasat birimlerinde alt flora olarak kuzey bakılarda orman gülü türleri (*Rhododendron luteum* L. *ve Rhododendron ponticum* L.) bulunmaktadır. Çalışma alanındaki yıllık ortalama yağış ve sıcaklık sırasıyla 771 mm ve 13 °C (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2025). Jeolojik olarak Üst Kretase yaşlı volkanik kayalar, mostra vermeyen yaşlı birimler üzerinde uyumsuz olarak bulunur.

Çalışmanın yürütüldüğü hasat birimlerinin bazı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hasat birimlerinin bazı meşcere özellikleri

Hasat Birimi	Yaş (yıl)	Alan (ha)	Eğim (%)	Kapalılık	Eta (m^3)	Hacim (m^3/ha)	Üretilen Hacim (m^3)
I	100	12.6	70	3	1246	98.8	1963.0
II	90	6.7	65	3	201	51.8	347.0
III	90	21.2	65	3	636	19.0	403.0
IV	110	15.9	70	3	550	35.0	556.5
V	80	7.5	72	2	128	15.0	112.5
VI	85-95	14.6	70	3	227	15.6	227.0
VII	85-95	17.0	65	3	233	13.7	233.0
VIII	54	12.5	80	2	255	30.0	375.0

Tablo 1'de görüldüğü gibi, hasat birimlerinin ortalama yaş, eğim, alan ve aktüel kapalılık değerleri sırasıyla 87, 69.6%, 13.5 ha ve 2.75'tir. Çalışma alanlarındaki toplam planlanan eta ve üretilen hacim miktarları sırasıyla 3476 m^3 ve 4217 m^3'tür.

Kar üzerinde yapılan kontrolsüz sürütme faaliyetleri sonrasında fidanlarda oluşan zararları değerlendirmek için sürütme güzergâhları üzerinde ve çevresinde tam alan değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmede zarar görmüş fidan sayısı, fidanların çapı ve oluşan zararların tipi belirlenmiştir. Zarar görmüş fidanların çapları Haglöf Mantax mekanik çap ölçer ile ölçülmüştür. Fidanlarda oluşan zarar tipi; gövde kırılması, kökünden sökülme, zemin üzerine yatma, çevredeki bireylerin üzerine devrilme ve tepe kırılması şeklinde değerlendirilmiştir (Ünver-Okan, 2018).

İstatistik Değerlendirmeler

Arazi çalışmalarından elde edilen veriler arasındaki istatistiksel ilişkileri değerlendirmek için SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) paket programı kullanılmıştır. Öncelikle verilerin normal dağılım durumunu belirlemek için yapılan basıklık-çarpıklık testinde verilerin normal

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

dağılmadıkları tespit edilmiştir. Parametreler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde nonparametrik testler kullanılmıştır. Fidan çapları ile zarar tipleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için Kruskal-Wallis analizi yapılmıştır.

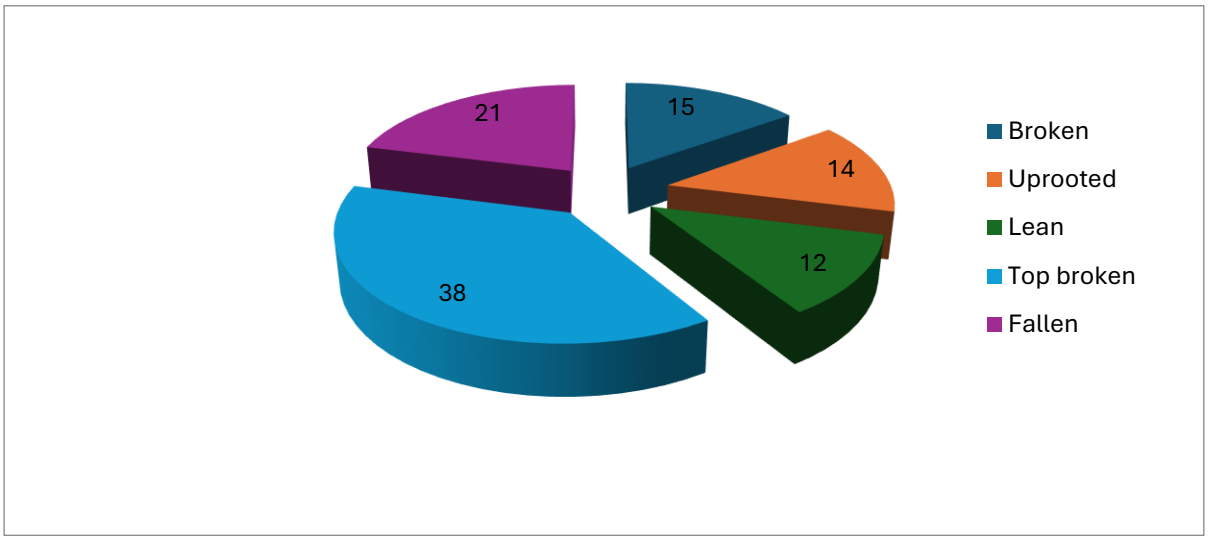
Bulgular ve Tartışma

Hasat birimlerinde sürütme öncesindeki, çıkarılan ve sonrasındaki ortalama göğüs yüzeyi alanı, hektardaki ağaç sayısı ve $d_{1.30}$ çapları hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Hasat faaliyetlerinin meşcere yapısı üzerine etkileri

	Bazal Alan (m^2 ha^{-1})	N (n ha^{-1})	Ortalama $d_{1.30}$ (cm)
Hasat Öncesi	48.82	1025	24
Taşınan	17.41	188	20
Hasat Sonrası	31.41	837	23
Zarar Görmüş	4.46	45	21

Tablo 2'de görüldüğü gibi, odun hammaddesi üretim faaliyetlerinde hasat birimlerindeki hektardaki göğüs yüzeyi alanının %36'sı çıkarılırken, kalan göğüs yüzeyi alanının %14'ü zarar görmüştür. Değerlendirmeler sonucunda çalışma alanlarında toplam 239 adet fidanın zarar gördüğü tespit edilmiştir. Fidanlarda belirlenen zarar tiplerinin oransal dağılımları Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Fidanlardaki zarar tiplerinin dağılımı

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Şekil 2'de görüldüğü gibi kış üretim alanlarında fidanlarda en yaygın olarak rastlanan zarar tipi tepe kırılması (%38) olup bunu devrilmiş (%21), kırılmış (%15), sökülmüş (%14) ve yan yatmış (%12) izlemektedir. Bu durum, kış üretiminde fidan gövdelerinin büyük kısmının kar tabakası altında kalması ve tomrukların kar tabakası üzerinde kalan tepe kısımlarına temas etmesinden kaynaklanmış olabilir.

Fidanlarda belirlenen zarar tipleri ile fidan çapları arasında fark olup olmadığı Kruskal-Wallis testi ile analiz edilmiştir. İstatistiksel değerlendirme sonucunda zarar tipleri ile fidan çapları arasında %95 güven düzeyinde ($P<0.05$) farklılık olduğu belirlenmiştir. Kalın çaplı fidanlarda büyük oranda devrilme ve sökülme zararları meydana gelmiştir. Bu durum, ince fidanların daha esnek olmasından kaynaklanabilir. Benzer şekilde, küçük boyutlu fidanların hasat sırasında oluşan zararlara karşı büyük boyutlu olanlara kıyasla daha dirençli olduğu vurgulanmıştır (Eliasson vd., 2003).

Sonuç ve Öneriler

Kış mevsiminde saf ladin meşcerelerinde kar üzerinde sürütülerek bölmeden çıkarma sonucunda fidanların gövdelerinin büyük bölümünün kar tabakası altında olması nedeniyle en fazla tepe kırılması zararına maruz kalmışlardır. Ayrıca zarar gören fidanların çapları ile oluşan zarar tipleri arasında anlamlı bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur. Buna göre, ince çaplı fidanlara oranla esnekliği daha az olan kalın çaplı fidanlar hayati açıdan daha ciddi zararlara uğramıştır.

Engebeli ve yoğun fidan bulunan bakım sahalarında iklim koşullarının el vermesi durumunda kış üretiminin yapılması geleceğin ürününü oluşturan fidanların zarar görmesini minimize etmek adına uygun olacaktır. Fidan boyunun kar tabakasından daha uzun olduğu ve fidanların tepe tomurcuğunun önemli oranda zarar görebileceği durumlarda yapay güzergah ya da kızak üzerinde sürütme yapılması tercih edilebilir.

Teşekkürler

Yazarlar, bu çalışmaya sağladığı mali destekten dolayı Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür eder.

Kaynaklar

1. Acar, H.H., Eroğlu, H., Özkaya, M.S. 2010. An Investigation on Roundwood Extraction and Determination of the Physical Damages on Residual Trees and Seedlings due to Logging Operation Using Urus MIII Forest Skyline on Snow. Formec 2010, 11-14 July, Padova, Italy.
2. Akay, A.E., Erdaş, O., Büyüksakallı, H., Şakar, D. 2015. Assessment of Winter Harvesting Operation in Mediterranean City of Kahramanmaraş in Turkey. Formec 2015, 04-08 October, Linz.
3. Badraghi, N., Erler, J., Hosseini, S.A.O. 2015. Residual Damage in Different Ground Logging Methods along Side Skid Trails and Winching Strips. Journal of Forest Science 61, 12, 526–534 https://doi.org/10.17221/50/2015-JFS
4. Büyüksakallı, H. 2010. Doğu Akdeniz Yöresinde Kış Üretimi (Erken Üretim) Olanakları, Uygulamaları ve Geliştirilmesi [Winter Production (Early Production) Possibilities, Applications, and Improvements in Eastern Mediterranean Region]. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, MSc Thesis, Kahramanmaraş.
5. Cudzik, A., Brennensthul, M., Białczyk, W., Czarnecki, J. 2017. Damage to Soil and Residual Trees Caused by Different Logging Systems Applied to Late Thinning. Croat. J. For. Eng. 38, 83–95.
6. Eliasson, L., Lageson, H., Valinger, E. 2003. Influence of Sapling Height and Temperature on Damage to Advance Regeneration. For. Ecol. Manage. 175, 217 – 222.
7. Erdaş, O., Akay, A.E., Büyüksakallı, H., Şakar, D. 2015. Kış Üretimi Çalışmalarının Değerlendirilmesi: Andırın-Kahramanmaraş Örneği [Evaluation of Winter Production Activities: the Andırın-Kahramanmaraş Example]. Üretim İşlerinde Hassas Ormancılık Sempozyumu, 4-6 June, 181-192.
8. Erdaş, O. 2008. Transport Teknikleri [Transport Techniques]. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Yayın No: 110, Ders Kitabı Yayın No:20, 554p., Kahramanmaraş.
9. Eroğlu, H., Öztürk, U.Ö. 2008. Artvin Yöresinde Urus MIII Orman Hava Hatları Kullanılarak Gerçekleştirilen Bölmeden Çıkarma Çalışmalarının Dikili Ağaçlara ve Fidanlara Verdiği Fiziksel Zararların Mevsimsel Açıdan Karşılaştırılması [A Seasonal Comparison of the Physical Damages on Residual Trees and Seedlings due to Logging Operation Using Urus MIII Forest Skyline in Artvin Region]. Artvin Çoruh University, Faculty of Forestry Journal 9, 1, 81-91. https://izlik.org/JA82DK28GR
10. Fortier, J., Truax, B., Gagnon, D., Lambert, F. 2022. Thinning and Gap Harvest Effects on Soil, Tree and Stand Characteristics in Hybrid Poplar Bioenergy Buffers on Farmland. Forests 13, 194. https://doi.org/10.3390/f13020194

11. General Directorate of Forestry (GDF), 2025. Forestry Statistics 2024. Ministry of Agriculture and Forestry. https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/kitaplik/Ormancilik-istatistikleri
12. General Directorate of Forestry (GDF), 2026. 2025 Administrative Activity Report. Department of Strategy Development, Ankara, pp. 56.
13. Gülci, N., Yüksel, K., Akay, A.E. 2017. Productivity Assessment of Portable Hand Winch-Based Skidding Operation on Snow Cover. Kastamonu Univ., Journal of Forestry Faculty 17, 1, 124-131. https://doi.org/10.17475/kastorman.296910
14. Kizha, A.R., Nahor, E., Coogen, N., Louis, L.T., George, A.K. 2021. Residual Stand Damage under Different Harvesting Methods and Mitigation Strategies. Sustainability 2021, 13, 7641. https://doi.org/10.3390/su13147641
15. Martin, P.A., Newton, A.C., Pfeifer, M., Khoo, M., Bullock, J.M. 2015. Impacts of Tropical Selective Logging on Carbon Storage and Tree Species Richness: A Meta-Analysis. For. Ecol. Manag., 356, 224-233. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.07.010.
16. Mousavi Mirkala, R. 2017. Comparison of Damage to Residual Stand due to Applying Two Different Harvesting Methods in the Hyrcanian Forest of Iran: Cut-to-Length Vs. Tree Length. Caspian J. Environ. Sci. 15, 1, 13-27.
17. Silva, D.A., Piazza, G., Fantini, A.C., Vibrans, A.C., 2017. Forest Management in A Secondary Atlantic Rainforest: Assessing Harvest Damage. Advances in Forestry Science 4, 4, 187-193.
18. Surakka, H., Sirén, M., Heikkinen, J., Valkonen, S. 2011. Damage to Saplings in Mechanized Selection Cutting in Uneven-Aged Norway Spruce Stands. Scandinavian Journal of Forest Research 26, 3, 232-244, DOI: 10.1080/02827581.2011.552518
19. Taş, İ., Akay, A.E. 2020. Productivity Analysis of Timber Extraction on Snow Surface by Using A Farm Tractor with Cable Winch. Tree and Forest 1, 1, 21-27. https://izlik.org/JA46WW67DY
20. Tavankar, F., Majnounian, B., Bonyad, A.E. 2012. Felling and Winching Damages to Natural Regeneration in The Hyrcanian Forests of Iran. International Journal of Agronomy and Plant Production 3, 8, 300-305.
21. Tavankar, F., Picchio, R., Nikooy, M., Lo Monaco, A., Iranparast Bodaghi, A. 2017. Healing Rate Logging Wounds on Broad Leaf Trees in Hyrcanian Forest with Some Technological Implications. Drewno, 60, 65–80.

22. Tunay, M., Çığ, F. 1994. Kastamonu yöresinde kar üzerinde üretim çalışmaları [Production Studies on Snow in the Kastamonu Region]. Istanbul University Faculty of Forestry Journal. Sery B. 44, 1-2, 155-166.
23. Türk, Y., Gümüş, S., 2015. Tarım traktörleriyle bölmeden çıkarmada meydana gelen toprak ve fidan zararlarının araştırılması [Investigation of Soil and Sapling Damages from Occurring in Extraction with Farm Tractors]. Artvin Çoruh University Journal of Forestry Faculty 16, 1, 55-64.
24. Turkish State Meteorological Service, 2025. Last 35 Years of Climate Data from Trabzon Meteorology Station.
25. Ünver-Okan, S., Gümüş, S., Acar, H.H., 2017. Assessment of Wood Harvesting Activities in Terms of Sustainable Forest Management. International Forestry and Environmental Symposium (IFES), 231p., Trabzon, Turkey.
26. Ünver-Okan, S. 2018. The Effects of Ground-Based Skidding on Saplings during Forest Thinning Operations in The Summer Season. Journal of Apyterapy and Nature 1, 3, 1-7.
27. Ünver, S., Oktan, E. 2024. The Effects of Ground-Based Skidding on Sapling Vitality Depending on Thinning Intensities and Skidding Technique. Austrian J. of For. Sci. 3, 195-214.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ORMAN OKULLARINDA MANTAR TEMELLİ DOĞA EĞİTİMİ: ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİNDE EKOLOJİK FARKINDALIK, BİLİMSEL SÜREÇ BECERİLERİ VE DOĞAYLA BAĞ KURMA ÜZERİNE BİR DERLEME

Yasin ÜNAL[1], **Mevlüt ZENBİLCİ**[2], **Halis Mümin YILMAZ**[3]

[1]Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, yasinunal@isparta.edu.tr - ORCID ID 0000-0001-7180-133X

[2]Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Rektörlük, zenbilci1907@gmail.com - ORCID ID 0000-0002-9329-0419

[3]Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, halismuminyilmaz@biolabtr.com - ORCID ID 0009-0000-4470-2934

ÖZET

Erken çocukluk döneminde doğrudan doğa deneyimleri; merak, gözlem, sorgulama ve çevresel aidiyetin gelişmesi için önemli bir öğrenme bağlamı sunmaktadır. Orman okulu yaklaşımı düzenli açık hava deneyimi, çocuk yönelimli keşif, oyun ve yönetilebilir risk ilkelerine dayanırken mantarlar bu yaklaşım içinde çoğunlukla ikincil düzeyde ele alınmaktadır. Oysa mantarların renk, biçim, doku, büyüme ortamı ve mevsimsellik bakımından gösterdiği çeşitlilik; gözlem, karşılaştırma, sınıflandırma, ölçme, veri kaydetme, tahmin ve kanıta dayalı açıklama gibi bilimsel süreç becerileri için zengin bir materyal oluşturur. Mantarlar ayrıca ayrışma, madde döngüsü, mikoriza, besin ağı ve habitat sürekliliği gibi soyut ekolojik ilişkilerin gözlenebilir belirtiler üzerinden tartışılmasına imkân verir. Bu derleme, orman okulu, erken çocukluk çevre eğitimi, doğayla bağ ve mantar ekolojisi literatürünü bir araya getirerek mantar gözleminden ekosistem kavrayışına uzanan kavramsal bir eğitim modeli önermektedir. Mevcut kanıtlar doğa temelli eğitimin öğrenme, iyi oluş ve doğayla bağ açısından umut verici sonuçlar doğurabildiğini göstermektedir; ancak mantar temelli etkinliklere özgü nedensel kanıt henüz sınırlıdır. Bu nedenle önerilen model, kontrollü toplama yerine yerinde ve tekrarlı gözlem, çocukların sorularına dayalı araştırma, güvenli davranış kuralları ve uzun dönemli değerlendirme üzerine kurulmuştur. Türkiye'de uygulanacak çalışmaların farklı orman tiplerini, sosyoekonomik koşulları ve öğretmen yeterliklerini dikkate alması; ekolojik farkındalık, bilimsel süreç becerileri ve doğayla bağ göstergelerini birlikte izlemesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Orman okulu, ekolojik farkındalık; bilimsel süreç becerileri

1. GİRİŞ

Erken çocukluk, canlılar ve çevresel süreçler hakkındaki ilk açıklamaların biçimlendiği; merak, sınıflandırma ve nedensel düşünmenin günlük deneyimlerle geliştiği bir dönemdir. Bu dönemde fen eğitiminin amacı çocuklara yoğun kavram aktarımı yapmak değil, gözlenebilir olaylar üzerinden soru sorma, kanıt toplama ve açıklamalarını yeniden düzenleme fırsatı sağlamaktır (Eshach & Fried, 2005). Açık hava ortamları değişken, çok duyulu ve bağlama gömülü uyaranlar sunduğundan erken fen öğrenmesi için güçlü bir laboratuvar işlevi görebilir.

Doğayla düzenli temasın çocukların dikkat, fiziksel etkinlik, duygusal iyi oluş ve öğrenmeye katılımıyla ilişkili olduğu; bununla birlikte araştırma desenlerinin ve ölçümlerin heterojenliği

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

nedeniyle sonuçların ihtiyatla yorumlanması gerektiği bildirilmektedir (Chawla, 2015; Kuo et al., 2019; Dankiw et al., 2020). Orman okulu bu potansiyeli düzenli, tekrarlı ve çocuk merkezli bir pedagojik çerçeveye dönüştürür. Ancak uygulamalarda bitkiler ve hayvanlar görünürlükleri nedeniyle öne çıkarken mantarlar çoğu zaman yalnız 'zehirli/yenilebilir' ayrımıyla sınırlandırılmaktadır.

Mantarlar ne bitki ne de hayvandır; kendilerine özgü bir ökaryot âlemini oluşturur. Görünen şapkalı yapı çoğu türde organizmanın üreme yapısıdır; asıl vejetatif yapı substrat içinde gelişen hif ve miselyum ağıdır. Bu biyolojik özellik, görünür olanla görünmeyen süreç arasındaki ilişkiyi çocukların anlayabileceği somut örneklerle ele alma fırsatı verir. Bu derlemenin amacı mantar gözlemi, canlıları sınıflandırma, ayrışma, ekosistem ilişkileri ve doğayla bağ kurma arasında ilerleyen eğitimsel bir çerçeve geliştirmektir.

2. DERLEMENİN KAPSAMI VE YÖNTEMSEL YAKLAŞIMI

Bu çalışma sistematik derleme değil, kavramsal ve anlatısal bir derlemedir. Kanıtlar dört literatür alanında değerlendirilmiştir: (i) orman okulu ve doğa temelli erken çocukluk eğitimi, (ii) erken fen eğitimi ve bilimsel süreç becerileri, (iii) doğayla bağ ve çevresel tutumlar, (iv) mantarların ekosistem işlevleri ve mantar gözleminde güvenlik. Doğrudan mantar temelli erken çocukluk uygulamalarını sınayan araştırmalar az olduğu için, genel doğa eğitimi bulguları mantar etkinliklerine otomatik biçimde aktarılmamış; hangi sonuçların kanıta, hangilerinin pedagojik çıkarıma dayandığı açıkça ayrılmıştır.

Derlemenin temel kavramları ekolojik farkındalık, bilimsel süreç becerileri ve doğayla bağdır. Ekolojik farkındalık; canlıların çevreleriyle ve birbirleriyle ilişkilerini fark etme ve insan etkilerini değerlendirme kapasitesi olarak ele alınmıştır. Bilimsel süreç becerileri gözlem, karşılaştırma, sınıflandırma, ölçme, tahmin, veri kaydetme ve kanıta dayalı açıklamayı içerir. Doğayla bağ ise bireyin kendisini doğal dünyanın bir parçası olarak algılamasını içeren bilişsel, duyuşsal ve deneyimsel bir yapı olarak değerlendirilmiştir (Mayer & Frantz, 2004; Barrable & Arvanitis, 2019).

3. ORMAN OKULU YAKLAŞIMI VE ERKEN ÇOCUKLUK

3.1. Temel pedagojik özellikler

Orman okulu tek seferlik doğa gezisinden farklı olarak aynı doğal alana düzenli dönüş, mevsimsel değişimi izleme, çocukların ilgi ve sorularını merkeze alma, oyun ile araştırmayı birleştirme ve yaşa uygun risk yönetimi ilkelerine dayanır. Düzenli tekrar, çocuğun bir alanı yalnız ziyaret edilen yer olarak değil, değişimleri fark edilebilen tanıdık bir öğrenme çevresi olarak deneyimlemesini sağlar. Orman okulu üzerine değerlendirmeler özgüven, sosyal etkileşim, dil kullanımı, motivasyon ve fiziksel becerilerde gelişme bildirmiştir; ancak küçük örneklem, öznel gözlem ve karşılaştırma grubu eksikliği yaygın sınırlılıklardır (O'Brien & Murray, 2007; Leather, 2018).

3.2. Deneyim, oyun ve yönlendirilmiş keşif

Çocuk yönelimli keşif, öğretmenin geri çekilmesi anlamına gelmez. Etkili yetişkin desteği; çocuğun dikkatini ayrıntıya yönelten açık uçlu sorular sormayı, acele yanıt vermemeyi, farklı

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

açıklamaları karşılaştırmayı ve güvenli davranış sınırlarını görünür kılmayı içerir. ‘Bu mantarın adı nedir?’ sorusu tek bir doğru yanıta yönelirken ‘Bunu geçen haftaki örnekten ayıran özellikler neler?’ sorusu karşılaştırma ve kanıt üretmeye alan açar. Böylece oyun, gözlem ve bilimsel sorgulama birbirinden kopmadan ilerleyebilir.

4. MANTARLARIN DOĞA EĞİTİMİNDEKİ PEDAGOJİK POTANSİYELİ

4.1. Çok duyulu ve mevsimsel gözlem nesnesi

Mantar meyve gövdeleri kısa sürelerde ortaya çıkabilir, biçim ve renk değiştirebilir ve birkaç gün içinde kaybolabilir. Bu geçicilik çocukların zaman, değişim ve mevsimsellik hakkında gözlem yapmasını teşvik eder. Şapka biçimi, lamel veya gözenek yapısı, sap, halka, volva, yüzey dokusu, büyüdüğü substrat ve çevresindeki nem gibi özellikler büyüteç, fotoğraf ve çizimle kaydedilebilir. Koku veya dokunma gibi duyular yalnız uzman tarafından uygun görülen durumlarda ve hijyen kurallarıyla kullanılmalıdır; tadım hiçbir koşulda eğitim yöntemi değildir.

4.2. Sınıflandırma ve benzerlik-farklılık düşüncesi

Erken yaşta sınıflandırma, yalnız ad öğrenme değil; hangi özelliğin ayırt edici olduğuna karar verme sürecidir. Çocuklar mantarları renklerine göre grupladıklarında bir sistem, büyüdüğü yüzeye göre grupladıklarında başka bir sistem kurar. İki sistemin farklı sonuç vermesi sınıflandırmanın amaca ve seçilen ölçüte bağlı olduğunu gösterir. Eğitimde kesin tür teşhisinden çok gözlenebilir özellik kümeleri kullanılmalıdır. Fotoğrafa dayalı uygulamalar veya yapay zekâ araçları tek başına tür teşhisi ve yenilebilirlik kararı için güvenilir kabul edilmemelidir.

4.3. Ayrıştırıcılar ve madde döngüsü

Saprotrof mantarlar ölü odun ve yaprak döküntüsündeki karmaşık organik bileşikleri parçalayarak karbon ve besin elementlerinin ekosistemde yeniden kullanılmasına katkı sağlar. Bu süreç, ‘çöp olan yaprak nereye gider?’ gibi çocuk sorularını madde döngüsüne bağlamak için uygundur. Farklı çürüme aşamalarındaki kütüklerin karşılaştırılması; nem, yumuşaklık, renk değişimi, oyuklar ve mantar varlığının kaydedilmesiyle uzun dönemli bir araştırmaya dönüştürülebilir. Bununla birlikte tek bir mantar meyve gövdesinden belirli bir ayrışma hızının nedeni olduğu sonucu çıkarılmamalıdır; ayrışma mantarlar, bakteriler, omurgasızlar ve fiziksel çevrenin ortak ürünüdür (Baldrian, 2017).

4.4. Mikoriza, ortaklık ve görünmeyen ağlar

Birçok orman ağacı kökleriyle mikoriza mantarları arasında karşılıklı yarar sağlayan ilişkiler kurar. Mantar, bitkinin su ve mineral besinlere erişimini etkileyebilir; bitki ise fotosentez ürünlerinden mantara karbon sağlar. Mikorizal ortaklıklar bitki topluluklarının gelişimi ve toprak süreçleri bakımından önemlidir (van der Heijden et al., 2015). Erken çocuklukta bu ilişki ‘ağaçlar mantarlar sayesinde konuşur’ gibi aşırı antropomorfik ve bilimsel olarak tartışmalı anlatılara indirgenmemelidir. Daha doğru ifade, kök ile mantar arasında madde alışverişi olduğu ve etkilerin türlere ve çevre koşullarına göre değiştiğidir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

4.5. Besin ağları ve habitat sürekliliği

Mantarlar böcekler, yumuşakçalar ve bazı memeliler için besin veya yaşam alanı sağlayabilir; sporların taşınması da hayvan hareketleriyle gerçekleşebilir. Buna karşılık mantar çeşitliliği ölü odunun miktarı, ağaç türleri, toprak nemi, mikroiklim ve orman yönetimiyle ilişkilidir. Bu bağlantılar çocuğun tek bir canlıya odaklanan bakıştan ilişkiler ağına geçmesine yardımcı olabilir. Eğitimsel hedef mümkün olduğunca çok mantar adı ezberlemek değil, 'nerede bulundu, çevresinde ne vardı ve zamanla ne değişti?' sorularını izlemektir.

5. HEDEFLENEN EĞİTİMSEL ÇIKTILAR

5.1. Ekolojik farkındalık

Mantar temelli gözlem, ekosistemde çoğu zaman görünmez kalan ayrıştırma ve ortak yaşam süreçlerini görünür işaretler üzerinden tartışmaya açar. Çocuğun ölü odunu 'işe yaramayan' bir materyal yerine birçok canlı ve sürecin parçası olarak görmesi, habitatın bütünlüğüne ilişkin farkındalığı destekleyebilir. Ancak ekolojik farkındalık tek etkinlikle oluşmaz; aynı alana tekrarlı ziyaretler, değişimlerin kaydedilmesi ve bulguların yeniden konuşulması gerekir.

5.2. Bilimsel süreç becerileri

Mantar gözleminin temel katkısı, belirsizliği yönetilebilir bir araştırma problemine dönüştürmesidir. Çocuklar gözlem yapar, özellik seçer, örnekleri gruplar, büyüklük veya sayı ölçer, yağış sonrası ortaya çıkma hakkında tahminde bulunur ve sonraki ziyarette tahminlerini verilerle karşılaştırır. Bu döngüde öğretmenin görevi doğru cevabı hızla vermek değil, gözlem ile yorum arasındaki ayrımı görünür kılmaktır. Bir meyve gövdesinin 'ıslak' olması gözlem; 'dün yağmur yağdığı için büyüdü' ifadesi sınanması gereken açıklamadır.

5.3. Doğayla bağ kurma

Doğayla bağ, bilgi düzeyinden farklıdır: bir çocuk tür adlarını öğrenebilir fakat doğal alana aidiyet geliştirmeyebilir. Düzenli yer ziyareti, kişisel keşif, hayranlık, bakım davranışı ve mevsimsel değişimin izlenmesi duyuşsal bağı destekleyebilir. Araştırmalar doğayla bağın çevre yanlısı tutum ve davranışlarla ilişkili olduğunu göstermektedir (Mayer & Frantz, 2004; Chawla, 2015). Bununla birlikte ilişki nedensellik anlamına gelmez; aile deneyimi, kültür ve erişim olanakları gibi değişkenler dikkate alınmalıdır.

5.4. Dil, temsil ve sosyal öğrenme

Mantarların betimlenmesi renk, şekil, konum ve karşılaştırma sözcüklerinin kullanılmasını teşvik eder. Alan günlüğü, çizim, fotoğraf sıralaması ve ortak sınıflandırma panosu çocukların gözlemlerini farklı temsil biçimlerine dönüştürmesini sağlar. Küçük grup araştırmaları ise sırayla konuşma, başkasının kanıtını dinleme, anlaşmazlığı ölçüt üzerinden çözme ve ortak karar verme becerilerini destekleyebilir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

6. MANTAR GÖZLEMİNDEN EKOSİSTEM KAVRAYIŞINA ÖĞRENME DİZİSİ

Aşama	Çocuk eylemi	Bilimsel beceri	Ekolojik kavram	Belgeleme
1. Fark etme	Mantarın yerini ve görünümünü inceler	Dikkatli gözlem	Canlı çeşitliliği	Çizim ve fotoğraf
2. Betimleme	Renk, biçim, yüzey ve substratı söyler	Nitel veri kaydı	Yapı ve habitat	Alan günlüğü
3. Karşılaştırma	İki örneğin benzerliklerini bulur	Karşılaştırma	Çeşitlilik	Benzerlik-farklılık listesi
4. Sınıflandırma	Kendi ölçütüyle gruplar kurar	Sınıflandırma	Taksonomik düşünme	Grup kartları
5. Zaman içinde izleme	Aynı noktaya yeniden döner	Ölçme ve sıralama	Büyüme ve mevsimsellik	Tarih dizisi
6. İlişkilendirme	Odun, toprak, ağaç ve hayvan izlerini bağlar	Çıkarım kurma	Ayrışma ve besin ağı	Kavram ağı
7. Açıklama	Tahminini gözlem kayıtlarıyla karşılaştırır	Kanıta dayalı açıklama	Ekosistem değişimi	Çocuk anlatısı

Tablo 1. Mantar gözleminden ekosistem ilişkilerine ilerleyen örnek öğrenme dizisi.

Bu dizi doğrusal ve tek oturumluk bir ders planı değildir. Çocuklar yeni bir örnekle karşılaştığında önceki aşamalara dönebilir, sınıflandırma ölçütünü değiştirebilir veya yeni sorular oluşturabilir. Öğrenmenin temel kanıtı yalnız doğru tür adı değil; çocuğun hangi özelliği fark ettiği, veriyi nasıl kaydettiği ve açıklamasını yeni gözlem karşısında değiştirip değiştirmediğidir.

7. ÖĞRETMENİN ROLÜ VE ÖĞRENME ORTAMININ TASARIMI

Öğretmen, uzman teşhis sağlayan tek bilgi kaynağı olmaktan çok güvenli araştırma ortamını kuran ve düşünmeyi görünür kılan kolaylaştırıcıdır. Etkinlik öncesinde alanın risk değerlendirmesi yapılmalı, yaşa uygun sınırlar belirlenmeli ve çocuklara ‘bak, göster, dokunma ve ağza götürme’ rutini öğretilmelidir. Alan içinde öğretmen, çocukların kendi sorularını üretmesine izin verirken gözlem ile varsayımı ayıran sorular sormalıdır: ‘Bunu nereden anladın?’, ‘Başka hangi özellik bize yardımcı olabilir?’ ve ‘Gelecek hafta bunu nasıl kontrol ederiz?’

Öğrenme alanı yalnız mantarların bol olduğu noktalardan oluşmamalıdır. Mantar görülmeyen alanlar da toprak nemi, ölü odun, güneşlenme ve bitki örtüsü bakımından karşılaştırma olanağı sağlar. Aynı rotaya farklı hava ve mevsim koşullarında dönmek, yokluk verisinin de veri olduğunu gösterir. Örneklerin koparılması eğitim için zorunlu değildir; yerinde fotoğraf, ölçüm ve çizim çoğu amaç için yeterlidir.

8. GÜVENLİK, ETİK VE BİYOÇEŞİTLİLİĞİN KORUNMASI

8.1. Zehirlenme riskinin yönetimi

Yabani mantarlarda yenilebilir ve zehirli türler dış görünüş bakımından birbirine benzeyebilir; pişirme veya geleneksel testler birçok toksini güvenli hâle getirmez. Bu nedenle erken çocukluk etkinlikleri yenilebilirlik öğretimi veya tadım faaliyeti olarak tasarlanmamalıdır. Çocukların hiçbir yabani mantarı ağızlarına götürmemesi temel kuraldır. Şüpheli yutma durumunda belirti beklenmeden 112 Acil Çağrı Merkezi ve Ulusal Zehir Danışma Merkezi’nin güncel yönlendirmesine başvurulmalı; mümkünse örneğin konumu ve fotoğrafı korunmalıdır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

8.2. Dokunma, hijyen ve alerji

Mantar zehirlenmelerinin temel yolu yutmadır; yine de çocukların gelişim özellikleri nedeniyle doğrudan temas öğretmen kontrolünde sınırlandırılmalıdır. Temaslı etkinlik yapılacaksa yalnız uzman tarafından önceden değerlendirilen materyal kullanılmalı, eldiven gereksinimi risk değerlendirmesine göre belirlenmeli ve etkinlik sonunda eller sabunla yıkanmalıdır. Göz, ağız ve açık yarayla temas önlenmeli; bilinen alerjisi veya solunum hassasiyeti bulunan çocuklar için bireysel plan yapılmalıdır. Spor izi çalışmaları kapalı ve yoğun spor yükü oluşturacak biçimde yürütülmemelidir.

8.3. Toplama etiği

Bilimsel gözlem, her örneğin toplanmasını gerektirmez. Nadir olabilecek türler, küçük popülasyonlar ve çürük odun mikrohabitatları yerinde bırakılmalıdır. Eğitim grubu mantarı ezmemeli, kütükleri parçalamamalı ve çevresindeki yaprak örtüsünü geniş ölçekte kaldırmamalıdır. Korunan alanlarda toplama ve örnek taşıma için ilgili mevzuat ve alan kuralları geçerlidir. Etik yaklaşım çocuğa ‘doğadan materyal alma’ kadar ‘yerinde bırakma ve izleme’ davranışını da öğretir.

9. DEĞERLENDİRME VE ARAŞTIRMA TASARIMI

Mantar temelli doğa eğitiminin etkisi yalnız etkinlik sonunda ‘beğendin mi?’ sorusuyla değerlendirilemez. Ekolojik farkındalık için çocukların ayrışma ve canlı ilişkilerine dair çizim/anlatıları; bilimsel süreç becerileri için gözlem doğruluğu, sınıflandırma ölçütünün açıklığı ve kanıt kullanımı; doğayla bağ için alanı sahiplenme, bakım dili ve gönüllü doğa ilgisi birlikte incelenebilir. Erken çocuklukta yazılı testlerden çok yapılandırılmış gözlem, çocuk görüşmesi, fotoğrafla konuşturma ve ürün dosyası uygundur.

Gelecek araştırmalarda en az üç ölçüm zamanı önerilmektedir: uygulama öncesi, uygulama sonrası ve kalıcılık izlemi. Mümkün olduğunda benzer özellikte karşılaştırma grubu kullanılmalı; öğretmen beklentisi, önceki doğa deneyimi, aile katılımı ve program devamlılığı kaydedilmelidir. Sonuçlar yalnız grup ortalamasıyla değil çocukların farklı başlangıç düzeyleri ve öğrenme yollarıyla raporlanmalıdır. Mantarların mevsimsel ve düzensiz görünmesi uygulama sadakati açısından ayrıca belgelenmelidir.

10. TÜRKİYE BAĞLAMINDA UYGULAMA OLANAKLARI

Türkiye’nin iğne yapraklı, geniş yapraklı ve karışık ormanları; Akdeniz makisi, çayır, sulak alan kenarları ve kent parkları farklı mantar gözlem olanakları sunar. Ancak etkinlik takvimi bölgesel yağış, sıcaklık, yükselti ve orman tipine göre düzenlenmelidir. Ankara ve İç Anadolu gibi karasal bölgelerde sonbahar ve ilkbahar yağışlarını izleyen kısa dönemler öne çıkabilirken kıyı kuşaklarında gözlem penceresi farklılaşır. Program, mantar bulunamadığında da ayrışma belirtileri, likenler, ölü odun ve toprak nemi üzerinden sürdürülebilecek esnek yapıda olmalıdır.

Türkiye’deki uygulamalar için en önemli gereksinim öğretmenlerin temel mantar biyolojisi, risk iletişimi ve saha pedagojisi konusunda desteklenmesidir. Eğitimci kesin teşhis yapamadığında bunu açıkça söyleyebilmeli; bilinmeyeni araştırma fırsatına dönüştürmelidir. Üniversitelerin biyoloji ve orman fakülteleri, mikoloji uzmanları, doğa tarihi müzeleri ve yerel

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

yönetimlerle kurulacak iş birlikleri öğretmen eğitimini ve etik saha protokollerini güçlendirebilir.

11. TARTIŞMA

Mantarlar, erken çocukluk doğa eğitiminde üç düzeyi birbirine bağlayan özgün bir içerik sunar: kolay fark edilen meyve gövdesi, doğrudan görülmeyen miselyal yaşam ve bunların ekosistem süreçleriyle ilişkisi. Bu yapı çocuğu nesne adlandırmadan ilişki kurmaya, tek gözlemden zaman içindeki değişimi izlemeye ve görünür bulgulardan ihtiyatlı çıkarım yapmaya yöneltebilir. Önerilen mantar gözlemi → sınıflandırma → ayrıştırıcılar → ekosistem → doğayla bağ dizisi bu nedenle pedagojik olarak tutarlıdır.

Bununla birlikte üç sınıra dikkat edilmelidir. Birincisi, orman okulu literatüründeki olumlu sonuçlar mantar temelli programın aynı etkileri yaratacağını kanıtlamaz. İkincisi, tür adını öğrenme ekolojik kavrayışın eş anlamlısı değildir. Üçüncüsü, güvenlik kaygısı mantarları tamamen dışlamak için değil, gözlem ile tüketim arasına kesin sınır koyan bir risk yönetimi geliştirmek için kullanılmalıdır. Çocukların merakını korku diliyle bastırmak yerine ‘dokunmadan gözle, ağza götürme, yetişkine göster’ gibi açık ve tekrarlanabilir davranışlar öğretilmelidir.

Programın özgün araştırma değeri, mantarların ekolojik içerik olmasından çok aynı doğal noktaya tekrar dönmeyi gerektiren fenolojik yapısındadır. Bu özellik, kısa süreli doğa etkinliklerinde eksik kalan zaman boyutunu güçlendirir. Çocukların yağış, nem, substrat ve meyve gövdesi oluşumu arasındaki örüntüleri aylar boyunca izlemesi; bilimsel süreç becerileri ile yer temelli bağlılığı aynı öğrenme dizisinde birleştirebilir.

12. SONUÇ

Mantar temelli doğa eğitimi, orman okullarında erken çocukların ekolojik farkındalık, bilimsel süreç becerileri ve doğayla bağ geliştirmesine yönelik güçlü fakat henüz yeterince sınanmamış bir yaklaşım sunmaktadır. Mantarların çeşitliliği sınıflandırmayı; kısa süreli ortaya çıkışları tekrarlı gözlemi; saprotrof ve mikorizal işlevleri ise ayrışma, madde döngüsü ve karşılıklı yaşam kavramlarını destekler. Etkili bir program tür ezberine veya yenilebilirlik öğretimine değil, yerinde gözlem, çocuk soruları, kanıt kaydı, aynı alana dönüş ve güvenli davranış rutinlerine dayanmalıdır. Gelecekte Türkiye’nin farklı ekolojik bölgelerinde yürütülecek uzun dönemli ve karşılaştırmalı çalışmalar, bu modelin hangi koşullarda ve hangi çocuk gruplarında etkili olduğunu belirlemelidir.

KAYNAKLAR

Ardoin, N. M. & Bowers, A. W. (2020). Early childhood environmental education: A systematic review of the research literature. Educational Research Review, 31, 100353.

Baldrian, P. (2017). Forest microbiome: Diversity, complexity and dynamics. FEMS Microbiology Reviews, 41(2), 109–130.

Barrable, A. & Arvanitis, A. (2019). Flourishing in the forest: Looking at Forest School through a self-determination theory lens. Journal of Outdoor and Environmental Education, 22, 39–55.

Chawla, L. (2015). Benefits of nature contact for children. Journal of Planning Literature, 30(4), 433–452.

Dankiw, K. A., Tsiros, M. D., Baldock, K. L. & Kumar, S. (2020). The impacts of unstructured nature play on health in early childhood development: A systematic review. PLOS ONE, 15(2), e0229006.

Eshach, H. & Fried, M. N. (2005). Should science be taught in early childhood? Journal of Science Education and Technology, 14, 315–336.

Hawksworth, D. L. & Lücking, R. (2017). Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. Microbiology Spectrum, 5(4), FUNK-0052-2016.

Kuo, M., Barnes, M. & Jordan, C. (2019). Do experiences with nature promote learning? Converging evidence of a cause-and-effect relationship. Frontiers in Psychology, 10, 305.

Leather, M. (2018). A critique of Forest School: Something lost in translation. Journal of Outdoor and Environmental Education, 21, 5–18.

Mayer, F. S. & Frantz, C. M. (2004). The connectedness to nature scale: A measure of individuals' feeling in community with nature. Journal of Environmental Psychology, 24(4), 503–515.

O'Brien, L. & Murray, R. (2007). Forest School and its impacts on young children: Case studies in Britain. Urban Forestry & Urban Greening, 6(4), 249–265.

Van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M.-A. & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. New Phytologist, 205(4), 1406–1423.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ANADOLU PARSININ (PANTHERA PARDUS TULLIANA) EKOLOJİSİNDE BİTKİ ÖRTÜSÜNÜN ROLÜ: HABİTAT YAPISI, AV ERİŞİLEBİLİRLİĞİ VE OLASI TROFİK ETKİLER

Yasin ÜNAL, Mevlüt ZENBİLCİ, Halis Mümin YILMAZ

[1]Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, yasinunal@isparta.edu.tr - ORCID ID 0000-0001-7180-133X

[2]Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Rektörlük, zenbilci1907@gmail.com - ORCID ID 0000-0002-9329-0419

[3]Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, halismuminyilmaz@biolabtr.com - ORCID ID 0009-0000-4470-2934

ÖZET

Anadolu parsı (Panthera pardus tulliana), Anadolu, Kafkasya, İran platosu ve komşu dağ kuşaklarında varlığını sürdüren, düşük yoğunlukta bulunan ve izlenmesi güç bir büyük kedidir. Türkiye'deki çalışmalar ağırlıklı olarak varlık kayıtları, habitat tercihi ve potansiyel dağılım üzerinde yoğunlaşmış; pars ile bitki örtüsü arasındaki ilişkiler doğrudan ve karşılıklı bir ekolojik çerçevede henüz yeterince sentezlenmemiştir. Bu derleme, bitki örtüsünün pars üzerindeki etkilerini habitat yapısı, av tabanı, mevsimsellik, insan kaynaklı arazi dönüşümü ve ekolojik bağlantılılık üzerinden değerlendirmekte; parsın bitki toplulukları üzerindeki muhtemel dolaylı etkilerini ise yoğunluk aracılı ve davranış aracılı trofik yollar ile leş kaynaklı besin döngüsü bağlamında tartışmaktadır. Mevcut bulgular, parsın tek bir bitki formasyonuna bağımlı olmadığını; sarp topoğrafya, yeterli doğal av, uygun örtü ve düşük insan baskısının birlikte bulunduğu habitat mozaiklerini kullandığını göstermektedir. Kuzeydoğu Anadolu'daki kayıtlar seyrek orman, kayalık alan ve av mevcudiyetinin önemine işaret ederken, Batı ve Orta Asya'daki çalışmalar vejetasyon üretkenliği ve yoğunluğunun etkisinin biyocoğrafi bağlama göre değiştiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte Anadolu'da parsın otçul baskısını azaltarak bitki yenilenmesini sağladığını gösteren doğrudan deneysel kanıt bulunmamaktadır. Bu nedenle trofik basamaklanma, doğrulanmış bir sonuç değil, test edilmesi gereken bir hipotez olarak ele alınmıştır. Derleme sonunda fotokapan, dışkı DNA'sı, av bolluğu, vejetasyon örneklemesi ve uzaktan algılamayı aynı tasarımda birleştiren araştırma çerçevesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Anadolu pars, habitat seçimi, ekolojik koridor

1. GİRİŞ

Büyük etçiller, geniş alan gereksinimleri, düşük popülasyon yoğunlukları ve insanlarla mekânsal çatışmaları nedeniyle koruma biyolojisinin en zor çalışma gruplarından biridir. Aynı zamanda av toplulukları, leşçil ağları ve besin döngüsü üzerinde doğrudan veya dolaylı etkiler oluşturabildikleri için ekosistem işleyişi bakımından önem taşırlar (Ripple et al., 2014). Bununla birlikte büyük etçillerin bitkiler üzerindeki etkileri her sistemde aynı değildir; etkinin yönü ve büyüklüğü av topluluğu, habitat üretkenliği, insan baskısı ve alternatif yırtıcıların varlığına göre değişebilir (Ford & Goheen, 2015; Wilmers et al., 2025).

Anadolu parsı, güncel taksonomik kullanımlarda Batı Asya'daki parslarla birlikte Panthera pardus tulliana adı altında ele alınabilmektedir. Tarihsel literatürde P. p. saxicolor ve

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Anadolu'ya özgü P. p. tulliana adlarının farklı biçimlerde kullanılması, eski ve yeni çalışmaların karşılaştırılmasını güçleştirmektedir (Kitchener et al., 2017; Rosen & Mengüllüoğlu, 2022). Bu makalede, Anadolu'daki popülasyonu belirtmek amacıyla 'Anadolu parsı' ifadesi; daha geniş karşılaştırmalı literatür için 'İran/Anadolu parsı' ya da çalışmanın kullandığı takson adı tercih edilmiştir.

Türkiye'de pars üzerine doğrudan ekolojik veri sınırlıdır. Kuzeydoğu Anadolu'da 2013–2017 yıllarında yürütülen çalışma, pars varlığını farklı kanıtlarla belgeleyerek habitat tercihini çevresel değişkenler ve av varlığıyla ilişkilendirmiştir (Sarı et al., 2020). Daha sonra yayımlanan kayıt derlemesi ise 2004 sonrasındaki gözlem ve bulguların coğrafi yayılımını genişletmiştir (Başkaya et al., 2022). Potansiyel habitat modellemesi de Türkiye ölçeğinde dağılımın çevresel belirleyicilerini tartışmıştır (Alptuğ, 2022). Ancak bu çalışmalar bitki örtüsünü çoğunlukla bir habitat değişkeni olarak ele almakta; bitki–av–pars bağlantısının iki yönlü ekolojik mekanizmaları üzerinde sınırlı durmaktadır.

Bu derlemenin amacı, (i) bitki örtüsünün yapısal ve üretimsel özelliklerinin parsın alan kullanımı üzerindeki olası etkilerini, (ii) bu etkilerin av türleri aracılığıyla nasıl taşındığını, (iii) parsın bitki topluluklarına yönelik olası geri beslemelerini ve (iv) Türkiye'de bu ilişkileri test edecek araştırma tasarımını bütünleştirmektir. Temel sav, pars–bitki ilişkisinin tür çiftleri biçiminde değil; topoğrafya, örtü yapısı, birincil üretim, av topluluğu ve insan baskısını içeren bir peyzaj ağı olarak incelenmesi gerektiğidir.

2. DERLEMENİN KAPSAMI VE YÖNTEMSEL YAKLAŞIMI

Bu metin sistematik derleme olarak değil, kavramsal ve anlatısal derleme olarak hazırlanmıştır. Kaynaklar üç kanıt katmanında değerlendirilmiştir: (1) Türkiye'de Anadolu parsına ilişkin doğrudan saha çalışmaları; (2) İran, Irak, Kafkasya ve Orta Asya'daki P. p. tulliana/saxicolor çalışmalarından elde edilen bölgesel karşılaştırmalar; (3) diğer pars popülasyonları ve büyük etçiller üzerine yürütülmüş, mekanizma açıklayıcı genel ekoloji çalışmaları. Bu ayrım, karşılaştırmalı bir bulgunun Anadolu için kanıtlanmış sonuç gibi sunulmasını önlemek amacıyla yapılmıştır.

Derlemenin kavramsal birimleri; vejetasyon tipi, örtü yoğunluğu, vejetasyon üretkenliği, topoğrafik sarplık, doğal av mevcudiyeti, insan baskısı, parsın alan kullanımı ve bitki tepkisidir. 'Bitki örtüsü etkisi' ifadesi yalnızca floristik bileşimi değil; ağaç ve çalı örtüsü, görüş mesafesi, kenar yoğunluğu, mevsimsel yeşillik, yangın ve arazi kullanımına bağlı değişimi de kapsamaktadır. 'Trofik etki' ise parsın avını öldürmesiyle oluşabilecek yoğunluk aracılı etkiyi, avın risk algısıyla beslenme alanını değiştirmesiyle oluşabilecek davranış aracılı etkiyi ve av kalıntılarının yerel besin döngüsüne katkısını içerir.

3. ANADOLU PARSININ PEYZAJ EKOLOJİSİ VE BİTKİ ÖRTÜSÜ

3.1. Tek bir vejetasyon tipinden habitat mozaiğine

Pars, küresel ölçekte yüksek ekolojik esnekliğe sahip olmakla birlikte bu esneklik sınırsız değildir. Batı ve Orta Asya habitat modeli; çöl koşullarından, uzun süreli kar örtüsünden ve kentsel gelişime yakın alanlardan kaçınmanın önemini, arazi örtüsü ile topoğrafyanın birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir (Gavashelishvili & Lukarevskiy, 2008). İran'daki çalışmalar da uygun habitatların Hazar ormanlarından dağ steplerine ve yarı kurak çalılıklara kadar değişebildiğini, dolayısıyla tek bir 'pars bitki örtüsü' tanımının indirgemeci olacağını göstermektedir (Rosen & Mengüllüoğlu, 2022; Shahsavarzadeh et al., 2023).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Anadolu bakımından en anlamlı yaklaşım, floristik birlikleri tek başına sıralamak yerine yapısal habitat mozaiklerini tanımlamaktır. Seyrek orman–kayalık yamaç, orman–subalpin çayır, çalılık–mera ve vadi–sarp yamaç geçişleri; av, örtü ve kaçış alanlarının kısa mesafelerde birleşmesini sağlayabilir. Sarı et al. (2020), kuzeydoğu Anadolu'da seyrek orman ve kayalık alan kullanımına, özellikle de yaban domuzu gibi avların önemine dikkat çekmiştir. Bu sonuç, belirli ağaç türlerine doğrudan bir seçimi değil, örtü ile av bulunabilirliğinin ortak etkisini düşündürür.

3.2. Örtü, pusu ve güvenlik

Pars pusuya dayalı avlanan bir yırtıcıdır. Çalı tabakası, orman kenarı, kaya çıkıntıları ve parçalı ağaç örtüsü avına görünmeden yaklaşmayı kolaylaştırabilir. Buna karşılık çok açık peyzajlar yaklaşma olanağını azaltabilir; aşırı sık ve geçilmez örtü ise hareketi sınırlandırabilir. Afrika'daki bir çalışmada leoparların beslenme habitatı seçiminin yalnızca av biyokütlesiyle değil, avın yakalanabilirliğini belirleyen örtü koşullarıyla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Balme et al., 2007). Bu çalışma Anadolu'ya doğrudan genellenemez; fakat 'daha fazla av' ile 'daha yakalanabilir av' arasındaki ayrımı ortaya koyan mekanizma bakımından önemlidir.

Örtünün ikinci işlevi insanlardan sakınmadır. İnsan yoğunluğunun, yol erişiminin veya mera kullanımının yüksek olduğu peyzajlarda küçük orman yamaları ve sarp çalılıklar gündüz sığınağı işlevi görebilir. Bununla birlikte örtü tek başına güvenli habitat yaratmaz. Yol, avcılık ve çoban faaliyetiyle çevrili bir orman parçası, görünüşte uygun olsa bile işlevsel olarak düşük kaliteli veya ekolojik tuzak niteliğinde olabilir. Bu nedenle uzaktan algılamada ağaç örtüsü oranı, insan erişimi ve doğal av göstergeleriyle birlikte modellenmelidir.

3.3. Vejetasyon üretkenliği ve uzaktan algılama

Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), fotosentetik etkinlik ve yeşil biyokütle için yaygın bir vekil değişkendir. NDVI doğrudan parsın gereksinimini ölçmez; bitkisel üretim üzerinden otçul ve omnivor avların mekânsal dağılımını, su ve örtü koşullarını dolaylı biçimde temsil edebilir. İran–Irak sınırı boyunca yapılan bağlantılılık çalışmasında topoğrafik pürüzlülük, korunan alanlara uzaklık, yağış, vejetasyon/tarım yoğunluğu ve akarsulara uzaklık etkili değişkenler arasında bulunmuştur (Kaboodvandpour et al., 2021). Başka bölgelerde NDVI ve vejetasyon tipinin pars habitat uygunluğunda güçlü kestiriciler olabildiği bildirilmiştir (Mann et al., 2020). Ancak korelasyon mekanizma değildir: yüksek NDVI av bolluğu, su, daha düşük erişilebilirlik veya bunların birleşimini gösterebilir.

4. BİTKİ ÖRTÜSÜ–AV TABANI–PARS BAĞLANTISI

4.1. Av türlerinin bitkisel kaynaklara bağımlılığı

Bitki örtüsünün pars üzerindeki en güçlü etkisinin av tabanı aracılığıyla gerçekleşmesi beklenir. İran'da dışkı analizine dayanan bir çalışmada yaban koyunu, yaban domuzu ve yaban keçisi başlıca avlar arasında bulunmuştur (Taghdisi et al., 2013). Bölgesel sentezler de bezoar keçisi, yaban koyunları ve yaban domuzunun önemini vurgular (Rosen & Mengüllüoğlu, 2022). Bu türlerin dağılımı; ot ve otsu bitki üretimi, çalı sürgünleri, tohum ve meyve kaynakları, su varlığı, kar örtüsü ve insan kaynaklı otlatma baskısıyla şekillenir.

Yaban keçisi bakımından kayalık kaçış alanları ile bitkisel besin yamaçlarının yan yana bulunması; yaban domuzu bakımından meşe meyveleri, kök ve yumrular ile tarımsal ürünlerin mevsimsel bolluğu; karaca için orman açıklıkları, genç sürgünler ve çalı katmanı önem taşıyabilir. Buna göre pars habitatı, yalnızca parsın fiziksel olarak saklanabildiği alan değil, av türlerinin yıl boyunca enerji bulabildiği bitkisel üretim mozaiğidir. Av uygunluğunun pars

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

habitat modellerine eklenmesi, yalnız iklim ve arazi örtüsü kullanan modellere göre biyolojik gerçekliği artırabilir. Nitekim iklim değişikliği altında pars habitat daralmasının av mevcudiyetine göre değişebildiği gösterilmiştir (Khosravi et al., 2021).

4.2. Mevsimsel darboğazlar

Anadolu'nun dağlık alanlarında bitkisel üretim ve erişilebilirlik mevsimseldir. İlkbahar yeşillenmesi otçulları belirli yükselti kuşaklarına çekerken yaz kuraklığı su kaynakları ve vadi tabanlarında yoğunlaşmaya yol açabilir. Sonbaharda meşe palamudu ve diğer meyveler yaban domuzunun alan kullanımını değiştirebilir; kışın kar derinliği hem avın hareket maliyetini hem parsın avlanma olanağını etkiler. Bu süreçler, parsın sabit bir bitki örtüsü tipini değil, yıl içinde değişen kaynak yüzeyini izlemesini mümkün kılar.

Bu nedenle yıllık ortalama NDVI gibi tek değerler mevsimsel mekanizmaları gizleyebilir. Aylık veya mevsimlik Sentinel-2/Landsat göstergeleri; kar süresi, yangın izi, kuraklık indeksi ve suya uzaklık katmanlarıyla birleştirilmelidir. Fotokapan tespitlerinin aynı zaman penceresinde av türü aktivitesi ve vejetasyon fenolojisiyle eşleştirilmesi, parsın yeşillenmeyi mi, av yoğunlaşmasını mı yoksa insan faaliyetindeki azalmayı mı izlediğini ayırmaya yardımcı olur.

5. PARSIN BİTKİ TOPLULUKLARINA OLASI GERİ BESLEMELERİ

5.1. Yoğunluk aracılı trofik yol

Klasik trofik basamaklanma varsayımına göre büyük etçil, otçul avın yoğunluğunu düşürür; otlama ve sürgün tüketimi azalır; bitki biyokütlesi, fidan yaşama oranı veya tür bileşimi değişir. Büyük etçillerin küresel ekolojik etkilerine ilişkin sentezler bu mekanizmanın birçok sistemde mümkün olduğunu gösterir (Ripple et al., 2014). Bununla birlikte büyük etçil–otçul–bitki zincirlerinin kanıt gücü sistemler arasında eşit değildir. Kontrol alanı, tekrar ve mekanizma ölçümü eksiklikleri nedensel çıkarımı zayıflatabilir (Ford & Goheen, 2015).

Anadolu parsı için bu mekanizmanın gerçekleşmesi üç koşula bağlıdır: pars yoğunluğunun av ölüm oranını anlamlı biçimde etkilemesi, hedef avın bitki topluluğu üzerinde ölçülebilir baskı kurması ve diğer ölüm/üretim süreçlerinin bu sinyali maskelememesi. Türkiye'de parsın son derece düşük yoğunlukta ve dağınık olabileceği düşünüldüğünde, peyzaj ölçeğinde belirgin bir bitki tepkisi oluşacağı peşinen kabul edilemez. Bu nedenle 'pars bitki örtüsünü iyileştirir' ifadesi mevcut kanıtlarla desteklenmiş bir sonuç değildir.

5.2. Davranış aracılı yol ve korku peyzajı

Yırtıcılar, avlarını öldürmenin yanında risk algısı yaratarak otçulların nerede, ne zaman ve ne kadar süreyle beslendiğini değiştirebilir. Bu davranış aracılı yol, toplam otçul sayısı değişmese bile otlama baskısının mekânsal dağılımını değiştirebilir. Deneysel büyük etçil risk ipuçlarının bazı sistemlerde otçul davranışını ve alt trofik düzeyleri etkilediği gösterilmiştir (Suraci et al., 2016); ungulatlarda korku ekolojisinin bitki tüketimine bağlanması ise umut verici fakat bağlama duyarlı bir araştırma alanıdır (Chitwood et al., 2022).

Anadolu için test edilebilir beklenti şudur: pars geçişlerinin sık olduğu sarp boğazlar, kaya etekleri veya yoğun örtülü vadi hatlarında otçulların kalış süresi azalıyor; buna karşılık güvenli açık alanlarda yoğunlaşıyorsa bitki tüketimi yamalı bir desen gösterebilir. Bu beklenti, pars ve av fotokapan verileri ile aynı noktalardaki sürgün yenmesi, otsu biyokütle ve fidan yaşama ölçümleri kullanılarak sınanabilir. İnsanların ve sürü koruma köpeklerinin de güçlü risk kaynağı olması nedeniyle insan kaynaklı korku ile pars kaynaklı korku birbirinden ayrılmalıdır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

5.3. Av kalıntıları ve besin adacıkları

Pars tarafından öldürülen avların tüketilmeyen dokuları, dışkı ve mide içeriği; azot, fosfor ve mikroelementlerin toprağa yerel girişini sağlayabilir. Leşler aynı zamanda omurgalı ve omurgasız leşçilleri, ayrıştırıcıları ve mikrobiyal süreçleri destekler. Güncel çalışmalar, yırtıcıların av kalıntılarını mekânda dağıtarak yamalı biyokimyasal etkiler oluşturabileceğini; etkinin kuraklık, toprak ve leşçil erişimine bağlı olduğunu göstermektedir (Bump et al., 2009; Schmitz et al., 2023).

Bu mekanizma Anadolu parsı için henüz gösterilmiş değildir. Üstelik pars avını yoğun örtüye veya kaya kovuğuna taşıyabildiğinden, besin girişlerinin rastlantısal değil belirli mikrohabitatlarda yoğunlaşması mümkündür. Gelecekte doğrulanmış av noktaları ile eşleştirilmiş kontrol noktalarında toprak mineral azotu, kullanılabilir fosfor, mikrobiyal biyokütle ve bitki dokusu besin içeriği karşılaştırılabilir. Bu yaklaşım, parsın bitkiler üzerindeki etkisini yalnız otçul kontrolüyle sınırlamayan özgün bir araştırma hattı açar.

6. BOZUCU ETKENLER VE İNSAN TARAFINDAN DEĞİŞTİRİLEN VEJETASYON

6.1. Yangın

Yangın, pars–bitki ilişkisini kısa ve uzun vadede farklı yönlerde etkileyebilir. Şiddetli yangın hemen sonrasında saklanma örtüsünü azaltabilir, av ve pars hareketlerini değiştirebilir ve insan erişimini artırabilir. İzleyen erken süksesyon döneminde oluşan otsu üretim ve taze sürgünler bazı otçulları çekebilir. Dolayısıyla yangın alanı bütünüyle 'uygunsuz' veya 'uygun' olarak sınıflandırılmamalı; yangın şiddeti, yanık yama büyüklüğü, iyileşme yaşı ve çevredeki sığınaklarla birlikte değerlendirilmelidir.

6.2. Otlatma ve mera dönüşümü

Yoğun evcil hayvan otlatması doğal avlarla besin rekabetini artırabilir, bitki örtüsünün yüksekliğini ve bileşimini değiştirebilir ve çoban/koruma köpeği varlığını yükseltebilir. Öte yandan evcil küçükbaşların pars için kolay erişilebilir hâle gelmesi çatışma ve misilleme riskini artırır. Bu nedenle mera, pars için besin fırsatı ile ölüm riskinin çakıştığı bir ekolojik tuzağa dönüşebilir. Koruma yalnız parsın öldürülmesini engellemeye değil, gece ağılları, sürü gözetimi, zarar doğrulama ve hızlı tazminat gibi önleyici uygulamalara dayanmalıdır.

6.3. Tarım, yollar ve parçalanma

Tarım alanları yaban domuzu ve küçük memeliler için dönemsel besin sağlayabilir; ancak yol, insan, ışık ve köpek yoğunluğunu da artırır. Yol kenarı ve enerji koridorları bitki örtüsünü kesintiye uğratırken avcılara erişim sağlar. İran–Irak sınırındaki çalışma, uygun çekirdek alanların bağlantısının yalnız vejetasyonla değil korunan alanlar, topoğrafya ve insan kullanımıyla belirlendiğini göstermiştir (Kaboodvandpour et al., 2021). Batı Asya ölçeğinde pars habitatlarının büyük bölümünün sınır kuşaklarında olması, bitki örtüsü bağlantısının idari sınırları aşan bir koruma konusu olduğunu ortaya koymaktadır (Farhadinia et al., 2022).

7. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAĞLAMINDA BİTKİ–AV–PARS İLİŞKİSİ

İklim değişikliği parsı yalnız sıcaklık yoluyla etkilemez. Kuraklık, kar süresi, yangın rejimi ve bitki fenolojisindeki değişimler; av türlerinin beslenme alanlarını ve mevsimsel göçlerini değiştirebilir. Küresel ölçekte pars alt türleri için iklim ve arazi kullanımının birlikte değerlendirilmesi, uygun alan kaybı ile parçalanmanın alt türlere göre değiştiğini göstermektedir (Mitchell et al., 2024). İran için yapılan modellemelerde av mevcudiyetinin

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

gelecekteki habitat daralmasını değiştiren temel bileşenlerden biri olduğu bildirilmiştir (Khosravi et al., 2021).

Anadolu'da olası süreçler arasında kurak yazlarda su ve yeşil bitki örtüsünün vadi tabanlarında yoğunlaşması, dağ çayırlarının fenolojik zamanlamasının değişmesi, yangın sıklığının artması ve ağaç/çalı kuşaklarının yükselti boyunca yer değiştirmesi sayılabilir. Parsın yüksek hareket kapasitesi kısa vadede esneklik sağlayabilir; fakat koridorların yollar, barajlar, madenler ve yerleşimlerle kesilmesi iklimsel uyumu sınırlar. Bu nedenle iklim dirençli koruma, yalnız bugünkü kayıt noktalarını değil gelecekte av ve örtü sağlayabilecek yükselti gradyanlarını korumalıdır.

8. KORUMA VE HABİTAT RESTORASYONU İÇİN ÇIKARIMLAR

Anadolu parsının korunması, yalnız ağaçlandırma ile eş anlamlı değildir. Tekdüze plantasyonlar, doğal av ve geçiş yapısı bulunmadığında işlevsel pars habitatı oluşturmayabilir. Öncelik, doğal orman–çalılık–çayır–kayalık mozaiklerinin ve bunları bağlayan vadi sistemlerinin bütünlüğü olmalıdır. Bitki restorasyonu, av türlerinin doğal besin kaynaklarını, mevsimsel suya erişimi ve saklanma örtüsünü desteklemeli; buna karşılık insan–pars karşılaşmasını yerleşim yakınına çekecek uygulamalardan kaçınmalıdır.

Koruma planlamasında aşağıdaki ilkeler önerilmektedir:

Pars kayıt noktaları yerine çekirdek habitat, tampon bölge ve bağlantı koridorlarının birlikte korunması.

Doğal avların beslenme alanı olan çayır, çalılık, meşe toplulukları ve kayalık yamaç mozaiklerinin peyzaj ölçeğinde değerlendirilmesi.

Ağaçlandırmada yerli topluluk yapısının ve açıklıkların korunması; tek tür, sık plantasyonların otomatik olarak uygun habitat sayılmaması.

Yangın sonrası müdahalelerde erken süksesyon alanları ile örtü sürekliliğinin birlikte yönetilmesi.

Aşırı otlatmanın azaltılması ve hayvancılık zararlarını önleyen uygulamaların pars koridorlarında önceliklendirilmesi.

Hassas kayıt konumlarını kamuya açmadan kurumlar arasında standartlaştırılmış veri paylaşımı yapılması.

9. TÜRKİYE İÇİN ÖNERİLEN BÜTÜNLEŞİK ARAŞTIRMA TASARIMI

Pars–bitki ilişkisini test etmek için yalnız fotokapan veya yalnız floristik örnekleme yeterli değildir. Aşağıdaki modüllerin aynı örnekleme istasyonlarında ve en az iki–üç yıl boyunca yürütülmesi önerilir.

Modül	Ölçüm	Temel çıktı	Yorum sınırı
Pars izleme	Standart fotokapan; dışkı/kıl DNA'sı; birey desenleri	İşgal, aktivite ve olası birey sayısı	Tespit yokluğu gerçek yokluk değildir
Av izleme	Fotokapan; hat sayımı; dışkı/iz; mümkünse mesafe örneklemesi	Av türü dağılımı ve göreli bolluk	Fotokapan oranı mutlak yoğunluk değildir
Vejetasyon	Örtü yüzdesi; yükseklik; tür zenginliği; fidan ve otlanma ölçümleri	Örtü yapısı ve bitki tepkisi	Floristik ilişki nedensellik göstermez
Uzaktan algılama	NDVI/EVI; kar süresi; yangın; kenar ve parçalanma	Mevsimsel üretkenlik ve peyzaj değişimi	İndeksler arazi doğrulaması gerektirir

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Modül	Ölçüm	Temel çıktı	Yorum sınırı
İnsan baskısı	Yol, yerleşim, sürü, köpek, avcılık ve gece ışığı	Risk yüzeyi	Gizli/eksik faaliyet kayıtları yanlılık yaratabilir

9.1. Test edilebilir hipotezler

H1: Pars tespit olasılığı, orta düzeyde örtü ve yüksek av tespiti bulunan sarp mozaiklerde en yüksektir.
H2: Vejetasyon üretkenliğinin pars üzerindeki etkisi doğrudan değil, av mevcudiyeti aracılığıyla taşınmaktadır.
H3: Pars kullanımının yüksek olduğu mikroalanlarda otçulların kalış süresi ve sürgün tüketimi daha düşüktür; bu etki insan faaliyetinin düşük olduğu alanlarda daha belirgindir.
H4: Pars av noktaları, eşleştirilmiş kontrol noktalarına göre geçici olarak daha yüksek toprak besini ve bitki dokusu azotu gösterir.
H5: Mevsimsel NDVI ve kar süresi, yıllık ortalamalardan daha iyi pars–av eşleşmesi açıklar.

9.2. Analitik çerçeve

Tespit kusurunu hesaba katmak için çok tür işgal modelleri; pars, av ve insan kullanımını eş zamanlı analiz etmek için ortak tür dağılım modelleri; bitki üretkenliği → av → pars yönünü sınamak için yapısal eşitlik modelleri kullanılabilir. Mekânsal otokorelasyon ve örnekleme eforu modele açıkça dahil edilmelidir. Nedensel trofik iddia için yalnız korelasyon yeterli değildir; pars kullanım yoğunluğu bakımından eşleştirilmiş alanlar, zaman içindeki değişim ve mümkünse doğal deneyler gereklidir.

10. BİLGİ BOŞLUKLARI VE ARAŞTIRMA ETİĞİ

Türkiye'de nüfus büyüklüğü, üreme, bireysel hareket, diyete ait genetik doğrulama ve av ölüm oranı hakkında bilgi yetersizdir. Bitki örtüsüne ilişkin mevcut değişkenler çoğunlukla kaba arazi örtüsü sınıflarıdır; alt tabaka, görüş mesafesi ve mevsimsel besin yaması gibi pars davranışına yakın değişkenler az ölçülmektedir. Ayrıca kayıtların farklı yöntem ve eforlarla toplanması karşılaştırmayı sınırlar.

Nadir büyük etçillerde açık veri bilimsel doğrulanabilirlik ile kaçak av riski arasında gerilim yaratır. Kesin koordinatlar kamuya açık eklerde yayımlanmamalı; veri yetkili kurumlar ve etik kurulların denetiminde, mekânsal hassaslaştırma uygulanarak paylaşılmalıdır. Dışkı veya kıl örneklemesi izinli, kontaminasyonu önleyen ve genetik verinin mülkiyetini açıkça belirleyen protokollerle yürütülmelidir. Yerel halk bilgisi, doğrulanmış biyolojik kayıt yerine geçmemeli; fakat örnekleme tasarımını yönlendiren, katılımcı korumayı güçlendiren değerli bir bilgi katmanı olarak kullanılmalıdır.

11. TARTIŞMA

Mevcut literatür, bitki örtüsünün pars için yalnız 'orman var/yok' değişkeni olmadığını göstermektedir. Örtü, avın enerji kaynaklarını ve yakalanabilirliğini, parsın saklanma ve hareket olanaklarını, insanlardan kaçınmayı ve koridor işlevini birlikte etkiler. Buna karşılık parsın bitki topluluklarına etkisi muhtemelen av sayısı, av davranışı ve leş kaynaklı besin girdileri üzerinden gerçekleşebilir. Bu iki yönlü çerçeve, parsın yalnız korunan bir tür değil, potansiyel bir ekosistem süreci bileşeni olarak incelenmesini sağlar.

Bununla birlikte üç ihtiyat noktası gereklidir. Birincisi, İran veya Afrika'daki pars çalışmalarının Anadolu'ya doğrudan aktarılması uygun değildir; bitki toplulukları, av bileşimi ve insan baskısı farklıdır. İkincisi, bir vejetasyon değişkeninin habitat modelinde önemli

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

çıkması parsın belirli bir bitki türünü seçtiğini göstermez. Üçüncüsü, büyük etçillerin trofik basamaklanma oluşturabileceğine ilişkin genel kanıt, Anadolu parsının günümüzde bitki yenilenmesini artırdığı anlamına gelmez. Çok düşük pars yoğunluğu, yoğun hayvancılık ve insan kaynaklı av ölümleri doğal üstten-aşağı etkileri zayıflatabilir.

Bu sınırlar aynı zamanda çalışmanın özgünlük alanını belirler. Anadolu'da parsın ekolojik işlevi hakkında güçlü iddialar kurmak yerine, hangi mekanizmaların hangi verilerle sınanacağını ortaya koyan bir kavramsal model geliştirmek bilimsel olarak daha değerlidir. Özellikle pars, doğal av, insan kullanımı ve bitki tepkisini aynı istasyonlarda ölçen uzun dönemli tasarımlar literatürdeki temel boşluğu kapatacaktır.

12. SONUÇ

Anadolu parsı ile bitki örtüsü arasındaki ilişki doğrudan bir pars–bitki birlikteliğinden çok, peyzaj yapısı ve besin ağı üzerinden işleyen karşılıklı bir ilişkidir. Bitki örtüsü parsın gizlenmesini, avına yaklaşmasını, dinlenmesini ve insanlardan kaçınmasını etkiler; bitkisel üretim ve floristik kaynaklar ise doğal avların dağılımını belirleyerek parsın alan kullanımına dolaylı biçimde yön verir. Pars da teorik olarak otçulların yoğunluğu ve davranışı ile av kalıntılarının besin döngüsünü değiştirerek bitki topluluklarını etkileyebilir.

Bugünkü kanıtlar, Anadolu'da bu geri beslemenin varlığını doğrulamaya yetmemektedir. Bu nedenle trofik basamaklanma bir koruma sloganı olarak değil, ölçülebilir ve yanlışlanabilir hipotezler bütünü olarak ele alınmalıdır. Anadolu parsının korunmasında temel birim, tek bir bitki formasyonu veya kayıt noktası değil; doğal avı, yapısal örtüyü, sarp sığınakları ve iklimsel hareket olanağını birlikte sağlayan bağlantılı habitat mozaiğidir.

KAYNAKLAR

Alptuğ, S. (2022). Maximum entropy niche-based predicting of potential habitat for the Anatolian leopard (Panthera pardus tulliana Valenciennes, 1856) in Türkiye. Šumarski list, 146(7–8), 345–355. https://doi.org/10.31298/sl.146.7-8.6

Balme, G. A., Hunter, L. T. B., & Slotow, R. (2007). Feeding habitat selection by hunting leopards Panthera pardus in a woodland savanna: Prey catchability versus abundance. Animal Behaviour, 74(3), 589–598. https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2006.12.014

Başkaya, Ş., Başkaya, E., Bilgili, E., & Gündoğdu, E. (2022). New records of the Anatolian leopard (Panthera pardus tulliana Valenciennes, 1856) in Türkiye. The European Zoological Journal, 89(1), 991–1001. https://doi.org/10.1080/24750263.2022.2105963

Beschta, R. L., & Ripple, W. J. (2009). Large predators and trophic cascades in terrestrial ecosystems of the western United States. Biological Conservation, 142(11), 2401–2414. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.06.015

Bump, J. K., Peterson, R. O., & Vucetich, J. A. (2009). Wolves modulate soil nutrient heterogeneity and foliar nitrogen by configuring the distribution of ungulate carcasses. Ecology, 90(11), 3159–3167. https://doi.org/10.1890/09-0292.1

Chitwood, M. C., Lashley, M. A., Kilgo, J. C., Moorman, C. E., & DePerno, C. S. (2022). Ecology of fear in ungulates: Opportunities for improving conservation. Ecology and Evolution, 12, e8657. https://doi.org/10.1002/ece3.8657

Farhadinia, M. S., McClintock, B. T., Johnson, P. J., Behnoud, P., Hobeali, K., Moghadas, P., Hunter, L. T. B., & Macdonald, D. W. (2017). A paradox of local abundance amidst

regional rarity: The value of montane refugia for Persian leopard conservation. Scientific Reports, 7, 9390. https://doi.org/10.1038/s41598-017-09740-3

Farhadinia, M. S., et al. (2022). Priority areas for transboundary conservation of Persian leopards in West Asia and the Caucasus. Cat News, Special Issue 15, 46–53.

Ford, A. T., & Goheen, J. R. (2015). Trophic cascades by large carnivores: A case for strong inference and mechanism. Trends in Ecology & Evolution, 30(12), 725–735. https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.09.012

Gavashelishvili, A., & Lukarevskiy, V. (2008). Modelling the habitat requirements of leopard Panthera pardus in west and central Asia. Journal of Applied Ecology, 45(2), 579–588. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01432.x

Kaboodvandpour, S., Almasieh, K., Zamani, N., & Naimi, B. (2021). Habitat suitability and connectivity implications for the conservation of the Persian leopard along the Iran–Iraq border. Ecology and Evolution, 11, 13464–13474. https://doi.org/10.1002/ece3.8079

Khosravi, R., Hemami, M. R., Malakoutikhah, S., Ashrafzadeh, M. R., & Cushman, S. A. (2021). Prey availability modulates predicted range contraction of two large felids in response to changing climate. Biological Conservation, 255, 109018. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109018

Kitchener, A. C., et al. (2017). A revised taxonomy of the Felidae: The final report of the Cat Classification Task Force of the IUCN/SSC Cat Specialist Group. Cat News, Special Issue 11, 1–80.

Mann, G. K. H., O'Riain, M. J., & Parker, D. M. (2020). Habitat preference and population density of leopards in a semi-arid biodiversity hotspot. Journal of Arid Environments, 172, 104038. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.104038

Mitchell, C., et al. (2024). Leopard subspecies conservation under climate and land-use change. Ecology and Evolution, 14, e11391. https://doi.org/10.1002/ece3.11391

Ripple, W. J., et al. (2014). Status and ecological effects of the world's largest carnivores. Science, 343(6167), 1241484. https://doi.org/10.1126/science.1241484

Rosen, T., & Mengüllüoğlu, D. (2022). Biology, ecology and taxonomy of the Persian leopard. Cat News, Special Issue 15, 6–8.

Sarı, A., Gündoğdu, E., Başkaya, Ş., & Arpacık, A. (2020). Habitat preference by the Anatolian leopard (Panthera pardus tulliana Valenciennes, 1856) in north-eastern Anatolia, Turkey. Belgian Journal of Zoology, 150, 153–168. https://doi.org/10.26496/bjz.2020.78

Schmitz, O. J., Hambäck, P. A., & Beckerman, A. P. (2000). Trophic cascades in terrestrial systems: A review of the effects of carnivore removals on plants. The American Naturalist, 155(2), 141–153. https://doi.org/10.1086/303311

Schmitz, O. J., et al. (2023). Patchy indirect effects of predation: Predators contribute to landscape heterogeneity by creating biogeochemical hotspots. Oikos, e10065. https://doi.org/10.1111/oik.10065

Shahsavarzadeh, R., Hemami, M. R., Farhadinia, M. S., Fakheran, S., & Ahmadi, M. (2023). Spatially heterogeneous habitat use across distinct biogeographic regions in a wide-ranging predator, the Persian leopard. Biodiversity and Conservation, 32, 2037–2053.

Suraci, J. P., Clinchy, M., Dill, L. M., Roberts, D., & Zanette, L. Y. (2016). Fear of large carnivores causes a trophic cascade. Nature Communications, 7, 10698. https://doi.org/10.1038/ncomms10698

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Taghdisi, M., Mohammadi, A., Nourani, E., Shokri, S., Rezaei, A., & Kaboli, M. (2013). Diet and habitat use of the endangered Persian leopard (Panthera pardus saxicolor) in northeastern Iran. Turkish Journal of Zoology, 37(5), 554–561. https://doi.org/10.3906/zoo-1208-27

Wilmers, C. C., et al. (2025). The ecological impacts of large-carnivore recovery in terrestrial ecosystems. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 56. https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102722-021139

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

FARKLI YAŞLARDAKİ KIZILÇAM TOHUM BAHÇELERİNDE TOHUM VE KOZALAK ÖZELLİKLERİ

Ayşenur KAÇAR
Karabük Üniversitesi,
aysenurkacar2502@gmail.com- 0009-0002-8709-0645
Prof. Dr. Murat ALAN
Karabük Üniversitesi,
muratalan@karabuk.edu.tr- 0000-0002-0226-1664

ÖZET

Dünyada birçok ülkede ağaç ıslahı çalışmaları yürütülmektedir. Bu çalışmaların temel amacı birim alandan üretilen odun hammaddesinin miktarının ve kalitesinin artırılmasıdır. Böylece ağaç ıslahı ile artırılan odun hammaddesi sayesinde hem odun hammaddesi ihtiyacının karşılanmasına hem de doğal ormanlara olan üretim baskısının azaltılmasına hizmet edilebilmektedir. Ağaç ıslahı, iyi tohum kaynağı olabilecek orman parçaları olan tohum meşceresi seçimi ile başlamakta, tohum meşcerelerinde tohum üretiminin zor, aynı zamanda maliyetli olmasından dolayı, meşcerelerde seçilen üstün ağaçların tohumları (aşısız) veya alınan aşı kalemleri (aşılı) ile tohum bahçesi kurulmaktadır. Tohum bahçeleri daha geniş aralık-mesafe ile kurulan ve tohum üretim amaçlı yönetilen ağaçlandırmalardır. Türkiye'de de 1976 yılında ilk kurulan Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) tohum bahçeleri ile tohum üretmek ve yapılan seleksiyon nedeniyle kaliteli bu tohumları ağaçlandırmalarda kullanmak amacıyla tohum bahçesi kuruluşları gerçekleştirilmektedir. Oldukça yaşlı ve yeni kurulan tohum bahçeleri bulunmaktadır. Farklı yaşlardaki tohum bahçeleri arasında farklılık olup olmadığını araştırmak için Antalya ilinde tohum bahçelerinin kuruluş tarihleri göz önüne alınarak, "genç" (6 yaş), "orta yaşlı" (11 yaş) ve "yaşlı" (32 yaş) tohum bahçeleri kozalak ve tohum özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Genç yaştaki bahçede kozalak boyutları daha fazla, 1000 tane miktarları birbirine yakın ve çimlenme yüzdeleri bir eğilim göstermemiştir. Bulgular tohum bahçesi yönetimi açısından değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kozalak, çimlenme yüzdesi, 1000 tane ağırlığı, ağaç ıslahı

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

1. GİRİŞ

Tohum bahçeleri, dünyada çok belirgin bir biçimde, en sık kullanılan eşeyli üreyen ormancılık üretim popülasyonlarıdır. Bu çerçevede, genetik olarak ıslah edilmiş tohumlar; sürekli, bol ve kolay üretilebilmesini (hasat) temel amaç edinen, seçilmiş ve genetik olarak üstün aday ebeveynler veya onların yavrularından oluşmaktadır [1]. Türkiye'de ağaç ıslahı programı çerçevesinde, tohum bahçeleri kurulmaktadır [2]. Islah programı çerçevesinde kurulan tohum bahçelerinin amacı ağaçlandırma ve gençleştirme çalışmaları için ihtiyaç duyulan tohumları sağlamaktır. Tohum bahçeleri bu açıdan bakıldığında sürekli tohum kaynakları olarak düşünülmektedir [3] Çünkü tohum bahçelerinde tarımda uygulanan meyve bahçesi mantığı kullanılarak, geniş aralık mesafeleri kullanılmakta, güneşlenme oranı artırılmakta ve böylece daha çok tohum üretimi gerçekleşebilmektedir. Bu bakımdan en üst seviyede yararlanabilmek için tohum bahçelerinde "tohum bahçesi yönetimi" gündeme gelmektedir [4, 5, 6]. Ayrıca, ağaç ıslah çalışmalarının her döngüsünde bir çıktı olarak yeni tohum bahçesi kurulmaktadır. Böylece yeni tohum bahçesi kurulduğunda, önceki döngüdeki tohum bahçesinin genetik değeri daha düşük olduğu için eski tohum bahçeleri kullanılmamaktadır [1,7]. Ayrıca tohum bahçelerinin yönetimine ilişkin seçici hasat yoluyla ürün artırımı ve genetik çeşitliliğin yönetimine yönelik çalışmaların yanı sıra [8], tohum bahçelerinin tepelerinin yoğun budanmasıyla kısa boylu (minyatür) hale getirilen tohum bahçelerinde en uygun tohum verimliliğini sağlamaya yönelik çalışmalar [9] yapılmıştır.

Tohum bahçeleri aşılı (klonal) veya aşısız (tohumdan) tohum bahçeleri olarak ikiye ayrılmaktadır [10, 3]. Türkiye'deki tohum bahçeleri aşılı tohum bahçeleridir. Aşılı tohum bahçesi tohum meşcerelerinde seçilen üstün ağaçlardan (veya tohum bahçelerinden) alınan aşı kalemlerinin altlık fidanlara (anaç) aşılanması sonucu elde edilen aşılı fidanlar ile kurulmaktadır.

Kızılçam aşılı tohum bahçeleri, yedi yaşında tohum verimine başlamakta ve 10 yaşından itibaren tohum verimi yeterli görülmektedir [2]. Bugüne kadar genç, orta yaşlı ve yaşlı denilebilecek tohum bahçeleri kozalak (çap, boy ve dip çap) ve tohum (bin tane, çimlenme yüzdeleri) özellikleri ile kozalaktan tohum verimi açısından değerlendirilmemiştir. Üstelik kızılçam tohum bahçeleri, 1446 ha tohum bahçesinin, 691 ha ile %48'ini oluşturmaktadır [11]. Bu açıdan yapılacak bir araştırmanın tohum kalitesi açısından kızılçam tohum bahçelerinin yaşa bağlı (genç, orta ve yaşlı) değerlendirilmesini sağlayabileceği ve kızılçam tohum bahçelerinin yönetimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışma Antalya ilinde üç tohum bahçesini kapsamaktadır. Bu tohum bahçelerinden "genç" olanının Ulusal Kayıt Numarası (UKN) 221'dir. 2024 yılı itibarıyla altı yaşında olan tohum bahçesinin orijini Kaş-Lengüme olup, kuruluş yeri Korkuteli Orman İşletme Müdürlüğü, Maarif Orman İşletme Şefliği'dir. "Orta yaşlı" tohum bahçesinin UKN 204, orijini Alanya-Kargı (Mahmutseydi) ve kuruluş yeri, Antalya Orman İşletme Müdürlüğü, Aksu Orman İşletme Şefliğidir. "Yaşlı" tohum bahçesinin UKN 38, orijini Gündoğmuş-Eskibağ (Akçagedik-Tespihli) ve kuruluş yeri Konyaaltı Orman İşletme Müdürlüğü, Kırkgöz Orman İşletme Şefliği'dir. Görüleceği üzere, tohum bahçelerinin tamamı Antalya ili (Antalya Orman Bölge Müdürlüğü) sınırları içinde bulunan tohum bahçeleridir.

Tohum bahçeleri kurulduktan belli bir süre sonra tohum verimine başlamakta, en yüksek verime ulaşmakta ve verim giderek azalmaktadır [2, 12, 13, 14]. İsveç'te Avrupa ladini tohum bahçeleri 40 yaşından sonra tohum verimi bakımından genetik kazanç kayıpları yaşanmasına karşın (14), sarıçamda ise en düşük maliyetlerin (kuruluş, yönetim ve hasat) 30 yaşa kadar olduğu [1]

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

bildirilmiştir. Kızılçamda tohum bahçelerinin tohum veriminin yaş ile değişimi bilinmemektedir. Diğer yandan, maliyet ve tohum verimini birlikte ele alan ve tohum bahçesinin ekonomik yönetim süresi (optimum) hakkında da bilgilere gereksinim bulunmaktadır. Araştırma daha çok kozalak ve tohum özelliklerinin (1000 tane ağırlığı, çimlenme yüzdesi, çimlenme enerjisi vb.) genç, orta yaşlı ve yaşlı tohum bahçelerine göre değerlendirilmesini, ayrıca tohum bahçelerinin birbirleriyle karşılaştırılmasını ve bulguların tohum bahçesinde kullanılmasını içermektedir.

Tohum bahçeleri ağaçlandırmalarda kaliteli ve genetik olarak üstün kaynaklardan tohum kullanılması ile birim alandan üretimin miktarının ve kalitesinin artırılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Tohum bahçesi yönetimi ise büyük emek ve masrafla kurulan tohum bahçelerinin etkin kullanımı için yapılacak işlem ve etkinlikleri kapsamaktadır [1]. Türkiye'de 12 ağaç türünde 1446 ha aşılı tohum bahçesi bulunmaktadır [11]. Tohum bahçelerinin alanının %48'i ise kızılçam tohum bahçelerinden oluşmaktadır. Türkiye'de kızılçamın içinde olduğu tohum bahçelerinde bakım (çapalama, sulama, araların sürülmesi, budama gibi) ve koruma (tel çit, biyotik ve abiyotik zararlılarla mücadele) açısından yönetim etkinlikleri yapılmaktadır. Bu çerçevede farklı yaklaşımlar da getirilmektedir [8, 9]. Genel olarak kızılçamın tohum ve kozalak özellikleri ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır [15]. Ayrıca, bir kızılçam tohum bahçesinde kozalak ve çiçek veriminin klonal farklılıklarını araştıran [16], bir kızılçam klon parkında tepe budamasının kozalak verimine etkisini inceleyen [17] ve farklı yaştaki tohum bahçelerinde tepe budamasının kozalak verimi üzerine etkilerini inceleyen [18] bazı çalışmalar bulunmaktadır. Türkiye'de özellikle kızılçam tohum bahçelerinde tohum verimi, yaşa göre tohum verimlerinin değişimi açısından bazı araştırmalar olmasına karşın, tohum bahçelerinin kozalak ve tohum özellikleri açısından yaşa göre incelendiği bir çalışma bulunmamaktadır.

Çalışmanın amacı, Antalya ilinde kurulu kızılçam aşılı tohum bahçeleri içinden belirlenecek, genç, orta yaşlı ve yaşlı üç farklı tohum bahçesinde, tohum bahçesi yaşına göre kozalak ve tohum özelliklerini ortaya çıkarmak, bu bilgilerin kızılçam tohum bahçelerinin yönetiminde kullanılmasını sağlamaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Kızılçam tohum bahçelerinin oldukça çok olduğu Antalya ilinde tohum bahçelerinin kuruluş tarihleri göz önüne alınarak, "genç" (2024 yılında 6 yaşında) tohum bahçesinin UKN 221, orijini Kaş-Lengüme, kuruluş yeri Korkuteli-Maarif, "orta yaşlı" (11 yaş) tohum bahçesinin UKN 204, orijini Alanya-Kargı (Mahmutseydi) kuruluş yeri, Antalya-Aksu ve "yaşlı" (32 yaş) tohum bahçesinin UKN 38, orijini Gündoğmuş-Eskibağ (Akçagedik-Tespihli), kuruluş yeri Konyaaltı-Kırkgöz'dedir. Kızılçam tohum bahçelerinde, hemen hemen bütün bir yıla yayılan tohum üretimi gözlemlenebilmektedir. Toplamaya başlamadan önce kozalakların olgunluk durumu kontrol edilmiş, her üç tohum bahçesinden (UKN 38, 204 ve 221) rastgele 10'ar klon seçilmiş, her birinden iyi güneş gören 20'şer olgun kozalak toplanmış (olmayanlar diğer rametten aynı rametten tamamlanmış, az olanlarda ise alınan kadar), torbalara konulmuş ve etiketlenmiştir. Öncelikle kozalakların boyutları (dip çap ve boy) ölçülmüş, tartılmıştır. Kozalakların tohumları ayrı ayrı çıkarılacak ve tartılacaktır. Elde edilen tohumlar ISTA (2017) kurallarına göre çimlenme testine alınmıştır.

Her bir tohum bahçesine göre tesadüf parselleri deneme deseni kullanılarak varyans analizleri yapılmış, farklılıklar için çoklu karşılaştırma yapılmıştır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

3. BULGULAR

En yaşlı tohum bahçesinde kozalak toplamak için tırmanıcı işçi veya yükseklere erişebilen makine ekipmanı kullanılması gerekmektedir. Orta yaşlı tohum bahçesinde yerden toplamak mümkün olmakla birlikte, ekipman kullanılabileceği görülmüştür. Genç tohum bahçesinde ise tamamen yerden toplamanın mümkün olduğu anlaşılmıştır. Genç tohum bahçesinde yeterince kozalak oluşmayan klonlara rastlanmıştır. Genel olarak, genç tohum bahçesindeki bireylerde henüz yeterince kozalak oluşmadığı görülmüştür.

İncelenen özelliklere ait tanıtıcı istatistikler Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre, 1000 tane ağırlıkları 16,7 g ile 85,9 g arasında değişmiş, ortalama 52,3 ± 3,1 g olmuştur. Diğer özelliklerin değerleri de benzer şekilde verilmiştir.

Çizelge 1. Özelliklere ait tanıtıcı istatistik

Özellikler	Ortalama	En yüksek	En düşük
Kozalak boyu (mm)	74,3±1,8	96,5	60,6
Kozalak dip çapı (mm)	42,6±0,7	50,1	36,0
1000 tane (g)	52,3±3,1	85,9	16,7

Kozalaktan tohum elde edilme oranı her üç tohum bahçesinde de %1 olmuştur, yani 100 kg kozalaktan 1 kg tohum elde edilebileceği anlaşılmıştır.1000 tane ağırlıkları 49,0 g (yaşlı) ile 56,0 g (orta yaşlı) arasında değişmiş; istatistiksel olarak farklılık görülmemiştir. Kozalak boyu açısından üç bahçe farklılık göstermiş, en yüksek kozalak boyu genç tohum bahçesindeki klonlardan elde edilmiştir. Benzer şekilde, kozalak dip çapı açısından da en fazla kozalak dip çapı genç tohum bahçesinde görülmüştür (Çizelge 2). Çoklu karşılaştırma testi ise Çizelge 3'te verilmiştir. Ancak yapılan çimlenme testlerinde belirgin bir eğilim görülmemiştir

Çizelge 2. Özelliklere ait varyans analizi

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kozalak boyu	Kozalak dip çapı	1000 tane
Tohum bahçesi	2	375,0**	60,2**	109,3^{az}
Hata	23	9,2	36,0	251,7

**, 0,01 düzeyinde farklı, ^{az} anlamsız

Çizelge 3. Özelliklere ait çoklu karşılaştırma (SNK)

Tohum bahçesi	Kozalak boyu	Kozalak dip çapı	1000 tane
TB221	82,2 a	45,7 a	52,9 a
TB204	72,2 b	42,1 b	56,0 a
TB38	69,7 b	40,5 b	48,9 a

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Kozalaktan elde edilen tohum miktarı, genel olarak bilinen %4,5'ten [19] (OGM, 2024) oldukça düşük (%1) olmuştur. Bu durum araştırmada süre kısalığı ve kısıtlı olanaklar nedeniyle kozalakların tohumlarının tamamen çıkarılamamasından kaynaklanmıştır. Bu durumun her üç bahçede de kozalaktan elde edilen tohum verimlerinin birbirinin aynı olduğunu teyit ettiği düşünülmektedir.

1000 tane ağırlığı genel kabul (49 g, [15]) ile uyumlu olmakla birlikte biraz daha yüksek bulunmuştur. Bu durumda, tohum bahçelerinde kozalak oluşumu daha serbest koşullarda açıklanabilir. Nitekim daha sıkışık durumda olan TB38 en düşük 1000 tane ağırlığına sahip olmuştur.

Genç tohum bahçesinin tohum ve kozalak özellikleri orta yaşlı ve yaşlı tohum bahçesi ile uyumlu, ancak tohum üretimi henüz yeterli değildir. Bu durumda genç tohum bahçesinin 6 yaşında kozalak oluşturmakla birlikte, henüz yeterli üretim yapamadığını düşündürmektedir.

Yaşlı tohum bahçelerinde ve kısmen orta yaşlı tohum bahçelerinde tohum toplamak daha pahalı olabileceği için tepe budaması yapılabilir veya yeni bahçe kuruluşu ile daha kolay kozalak (tohum) toplama yoluna gidilebilir.

.

KAYNAKÇA

[1] Funda, T., El-Kassaby, Y. A., "Seed orchard genetics." CABI Reviews, 1-23 (2012).

[2] Koski, V., Antola, J., "Turkish National Tree Breeding and Seed Production Program for Turkey (1994-2003)." Prepared in Cooperation with ENSO Forest Development Inc and Forest Tree Seeds and Tree Breeding Institute, Ankara (1993).

[3] Zobel, B., Talbert, J., "Applied Forest Tree Improvement." John Wiley&Sons. New York, 505 p. (1984).

[4] Werner, M., "Location, establishment and management of seed orchards." Şu eserde: Editör, Faulkner, R., Seed Orchard, Technical Bulletin 54, 49-55 (1975).

[5] PPFP., "Improved Tree Seed Production Manual." Participatory Plantation Forestry Programme (PPFP), Iringa, Tanzania (2020).

[6] EUFORGEN, "Seed orchards: Key considerations in establishing and using clonal and seed orchards for forest reproductive materials." Focus on Forest Genetic Diversity, Theme 3. European Forest Institute (2024).

[7] Alan, M., "Amerika Birleşik Devletleri'nin güney eyaletlerinde yapılan ağaçlandırmaların Türkiye açısından değerlendirilmesi" Ormancılık Araştırma Dergisi, 8(1), 42-53 (2021).

[8] Kim, Y. J., Jeon, K., Lee, C. B., Kang, K. S., "Comprehensive strategies for managing gene diversity and growth potential of crops by mean of selective cone harvest in a seed orchard of Pinus koraiensis." Forest Ecology and Management, 569, 122194 (2024).

[9] Matsushita, M., "Estimation of the optimal seed production management cycle of a miniature seed orchard, based on the crown recovery process and spatiotemporal light variation after pruning." Forests, 16(2), 345 (2025).

[10] Feilberg, L., Soegaard, B., "Historical review of seed orchards." Şu eserde: Editör, Faulkner, R., Seed Orchard, Technical Bulletin 54, 1-8 (1975).

[11] OATIAM., "Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü web sayfası" (2025). Erişim tarihi: 25 Temmuz 2025

[12] Powell, G. L., White, T. L., "Cone and seetarihi: from slash pine seed orchards." Southern journal of applied forestry, 18(3), 122-127 (1994).

[13] Prescher, F., Lindgren, D., Wennström, U., Almqvist, C., Ruotsalainen, S., Kroon, J., "Seed production in Scots pine seed orchards." In Status, monitoring and targets for breeding programs. Proceedings of the meeting of Nordic forest tree breeders and forest geneticists, Syktyvkar (pp. 65-72) (2005).

[14] Moriguchi, Y., Prescher, F., Lindgren, D., "Optimum lifetime for Swedish Picea abies seed orchards." New Forests, 35(2), 147-157 (2008).

[15] Şefik, Y., "Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Kozalak ve Tohumu Üzerine Araştırmalar." İÜ Orman Fakültesi Dergisi, 14: 35-70 (1964)

[16] Keskin, S., Çameli-Göldağ orijinli kızılçam tohum bahçesinde çiçek ve kozalak verimi açısından klonal farklılıklar ve çiçeklenme fenolojisi, Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü Teknik Bülten No: 9, 96 s, (1999).

[17] Şengün, S., Semerci, H., Antalya Düzlerçamı'nda kurulu kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) Klon Parkı'nda tepe budamasının çiçek ve kozalak verimi üzerine etkileri. Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Müdürlüğü, Teknik Bülten No: 8, (2001).

[18] Ezen, T., Sabuncu, R., Alan, M., Kaplan, S., Özyalçın, K., Ünal, C., "Farklı yaştaki kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) tohum bahçelerinde budamanın kozalak verimi üzerine etkileri." Orman Ağaçları ve Tohumları Islah Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Proje raporu, (2019).

[19] OGM., "Silvikültür Uygulamalarının Teknik Esasları" OGM Tebliğ No: 317, (2024).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE BAĞLI YABANCI OT FLORASINDAKİ DEĞİŞİMLER VE GELECEKTEKİ YABANCI OT YÖNETİMİNE YANSIMALARI

[1] Arş. Gör. Seren DOĞAR KAVAN,

Iğdır University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection Iğdır, Türkiye, seren.kavan@igdir.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2757-594X

[2] Doç. Dr. Ramazan GÜRBÜZ,

Iğdır University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection Iğdır, Türkiye, Herboloji, r_grbz@yahoo.com, ORCID ID: 0000-0003-3558-9823

Özet

İklim değişikliği, dünya çapındaki tarım ekosistemlerini derinden değiştiriyor ve yabani ot florasında önemli değişimlere yol açarak, ürün üretimi ve yabani ot yönetimi için geniş kapsamlı sonuçlar doğuruyor. Yükselen sıcaklıklar, artan atmosferik CO_2 konsantrasyonları, değişen yağış rejimleri ve aşırı hava olaylarının artan sıklığı, yabani otların dağılımını, fenolojisini, fizyolojisini ve rekabet dinamiklerini yeniden şekillendiriyor. Birçok yabani ot türü, mahsullere göre daha fazla fenotipik esneklik ve adaptasyon kapasitesi sergileyerek, daha önce uygun olmayan bölgelere yayılmayı, yaşam döngülerinde değişiklikleri ve gelecekteki iklim senaryoları altında artan büyüme ve üreme potansiyelini mümkün kılıyor. Özellikle, C_3 yabani otları, C_4 mahsullerine göre yüksek CO_2'ye daha olumlu tepki veriyor ve bu da yabani ot-mahsul rekabetini potansiyel olarak şiddetlendiriyor. İklim kaynaklı stres koşulları ayrıca herbisit etkinliğini ve direnç evrimini de etkiliyor. Sıcaklık ve nemdeki değişimler, herbisit emilimini, taşınmasını ve bozunmasını değiştirirken, dirençli biyotiplerin seçilimini hızlandırabiliyor. Ayrıca, istilacı ve termofilik türlerin ortaya çıkması da dahil olmak üzere yabancı ot topluluğu bileşimindeki değişimler, mevcut yönetim uygulamalarını karmaşıklaştırıyor ve tarımsal sürdürülebilirliği tehdit ediyor. Bu inceleme, iklim değişikliği-yabancı ot etkileşimlerini anlama konusunda son gelişmeleri sentezleyerek, yabancı otların ekolojik ve fizyolojik tepkilerine, yabancı ot florasında öngörülen değişikliklere ve mahsul-yabancı ot rekabeti ve herbisit performansına yönelik sonuçlara odaklanmaktadır. Ayrıca, iklime dayanıklı ekim sistemlerinin kullanımı, kontrol yöntemlerinin çeşitlendirilmesi, hassas tarım teknolojileri ve tahmine dayalı modelleme araçları da dahil olmak üzere uyarlanabilir ve entegre yabancı ot yönetimi stratejilerini değerlendirmektedir. Genel olarak, iklim kaynaklı

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

yabancı ot florasındaki değişikliklerle başa çıkmak, ekolojik bilgiyi, teknolojik yeniliği ve sürdürülebilir yönetim uygulamalarını entegre eden proaktif, sistem tabanlı bir yaklaşım gerektirir. Bulgular, değişen iklim koşulları altında uzun vadeli tarımsal verimlilik ve dayanıklılığı sağlamak için yabancı ot yönetimi çerçevelerinin yeniden tasarlanmasının acil ihtiyacını vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, Yabancı ot florası dinamikleri, Herbisit direnci, Mahsul-yabancı ot rekabeti, Entegre yabancı ot yönetimi

CLIMATE CHANGE–DRIVEN SHIFTS IN WEED FLORA AND THEIR IMPLICATIONS FOR FUTURE WEED MANAGEMENT

Abstract

Climate change is profoundly altering agroecosystems worldwide, driving significant shifts in weed flora with far-reaching implications for crop production and weed management. Rising temperatures, elevated atmospheric CO_2 concentrations, altered precipitation regimes, and increased frequency of extreme weather events are reshaping weed distribution, phenology, physiology, and competitive dynamics. Many weed species exhibit greater phenotypic plasticity and adaptive capacity than crops, enabling range expansion into previously unsuitable regions, changes in life cycles, and enhanced growth and reproductive potential under future climate scenarios. In particular, C_3 weeds often respond more positively to elevated CO_2 than C_4 crops, potentially exacerbating weed–crop competition. Climate-induced stress conditions also influence herbicide efficacy and resistance evolution. Variations in temperature and moisture can modify herbicide absorption, translocation, and degradation, while accelerating the selection of resistant biotypes. Furthermore, shifts in weed community composition, including the emergence of invasive and thermophilic species, complicate current management practices and threaten agricultural sustainability. This review synthesizes recent advances in understanding climate change–weed interactions, focusing on ecological and physiological responses of weeds, projected changes in weed flora, and the consequences for crop–weed competition and herbicide performance. It also evaluates adaptive and integrated weed management strategies, including the use of climate-resilient cropping systems, diversification of control methods, precision agriculture technologies, and predictive modeling tools. Overall, addressing climate-driven changes in weed flora requires a proactive, systems-based approach that integrates ecological knowledge, technological innovation, and sustainable management

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

practices. The findings highlight the urgent need to redesign weed management frameworks to ensure long-term agricultural productivity and resilience under changing climatic conditions.

Keywords: Climate change, Weed flora Dynamics, Herbicide resistance, Crop–weed competition, Integrated weed management

1. Giriş

İklim değişikliği, günümüzde küresel tarım sistemlerini tehdit eden en önemli çevresel sorunlardan biri olarak kabul edilmekte; tarımsal üretimin sürdürülebilirliği, ürün verimliliği, doğal kaynakların etkin kullanımı ve tarımsal ekosistemlerin istikrarı üzerinde önemli ve çok yönlü etkiler oluşturmaktadır. Sıcaklık artışları, yağış rejimlerindeki düzensizlikler ve aşırı iklim olaylarının sıklığındaki artış, tarımsal üretim süreçlerini doğrudan etkileyerek hem bitkisel üretimde verim ve kalite kayıplarına hem de üretim risklerinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle iklim değişikliğinin tarım üzerindeki etkilerinin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve bu etkilere karşı sürdürülebilir uyum stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır (Intergovernmental Panel on Climate Change /Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, 2021; Hatfield ile Prueger, 2015). Yükselen sıcaklıklar, artan atmosferik CO_2 konsantrasyonları, değişen yağış rejimleri ve aşırı hava olaylarının artan sıklığı, çeşitli manzaralardaki bitki topluluklarını yeniden şekillendirmektedir (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021; Parmesan & Yohe, 2003). Bu bağlamda, tarımsal üretim hedeflerini olumsuz yönde etkileyen bitkiler olarak tanımlanan yabancı otlar, çevresel değişimlere hızla uyum sağlayabilen ve tarımsal ekosistemlerin en dinamik ile uyum yeteneği yüksek bileşenlerinden birini oluşturan bitkilerdir (Duke, 2012; Ziska & Dukes, 2011). Yabancı otlar, yüksek genetik değişkenliğe, fenotipik esnekliğe ve verimli üreme stratejilerine sahiptir; bu da onların değişen çevresel koşullardan birçok kültür bitkisinden daha etkili bir şekilde yararlanmalarını sağlar (Patterson, 1995; Ziska & Dukes, 2011). Sonuç olarak, iklim değişikliğinin, tür bileşiminde, coğrafi dağılımda ve popülasyon dinamiklerinde değişiklikler de dahil olmak üzere, yabancı ot florasında önemli değişikliklere yol açması beklenmektedir (Bradley vd., 2010; Ziska & Dukes, 2011). Kanıtlar, birçok yabancı ot türünün daha yüksek enlemlere ve rakımlara doğru yayılım alanlarını genişlettiğini, termofilik ve istilacı türlerin ise çeşitli tarımsal ekolojik bölgelerde giderek daha baskın hale geldiğini göstermektedir (Bradley vd., 2010; Walther vd., 2002). Aynı zamanda, daha erken ortaya çıkma ve uzayan büyüme mevsimleri gibi fenolojideki değişiklikler, yabancı otların rekabet gücünü artırabilir ve ürün

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

verim kayıplarını şiddetlendirebilir (Cleland vd., 2007; Patterson, 1995). Ekolojik değişimlere ek olarak, iklim değişikliğinin, genellikle ürünlerin aleyhine olacak şekilde, ürünler ve yabancı otlar arasındaki etkileşimleri etkilemesi muhtemeldir (Mohler, 2001; Ziska & Dukes, 2011). Yüksek CO_2 seviyeleri, özellikle C_3 fotosentetik yollarına sahip olan bazı yabancı ot türlerinde fotosentezi ve biyokütle birikimini uyarabilir ve potansiyel olarak ışık, su ve besin maddeleri için rekabeti yoğunlaştırabilir (Smith vd., 2000; Ziska, 2003). Dahası, iklim değişkenliğiyle ilişkili çevresel stres koşulları, ürün ve yabancı ot performansını farklı şekilde etkileyebilir, rekabet hiyerarşilerini değiştirebilir ve yönetim uygulamalarını karmaşıklaştırabilir (Mohler, 2001). Birçok tarım sisteminde baskın strateji olmaya devam eden herbisit bazlı yabancı ot kontrolü, iklim kaynaklı değişikliklere karşı da savunmasızdır (Duke, 2005). Sıcaklık, nem ve toprak nemindeki değişimler, bitki fizyolojisini, emilimini ve translokasyon süreçlerini değiştirerek herbisit etkinliğini etkileyebilir (Sharma &Singh, 2001). Dahası, iklim değişikliği, ek seçilim baskıları uygulayarak ve dirençli biyotiplerin optimum olmayan kontrol koşulları altında hayatta kalmasını sağlayarak, herbisit dirençli yabancı ot popülasyonlarının evrimini ve yayılmasını hızlandırabilir (Délye, 2013; Powles & Yu, 2010). Bu durum, direncin zaten yaygın olarak belgelendiği asetolaktat sentaz (ALS) ve asetil-CoA karboksilaz (ACCase) inhibitörleri gibi herbisit grupları için özellikle endişe vericidir (Heap, 2026). Bu zorluklara ilişkin farkındalığın artmasına rağmen, mevcut yabancı ot yönetimi çerçeveleri büyük ölçüde tarihsel iklim koşullarına dayanmaktadır ve gelecekteki senaryoları ele almak için yeterince donanımlı olmayabilir (Norsworthy vd., 2012; Ziska & Dukes, 2011). İklim değişikliği bağlamında, dayanıklılık, uyarlanabilirlik ve sürdürülebilirliği vurgulayan yabancı ot yönetimi stratejilerinin yeniden değerlendirilmesi ve yeniden tasarlanması acil bir ihtiyaçtır (Norsworthy vd., 2012). Kültürel, mekanik, biyolojik ve kimyasal yöntemleri birleştiren entegre yabancı ot yönetimi yaklaşımları, değişen yabancı ot florası ve gelişen direnç modelleriyle ilişkili riskleri azaltmak için etkili araçlar olarak giderek daha fazla savunulmaktadır (Swanton & Weise, 1991). Bu inceleme, iklim değişikliğinin yol açtığı yabancı ot florasındaki değişimler hakkındaki mevcut bilgileri sentezlemeyi ve bunların gelecekteki yabancı ot yönetimi üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

2. İklim Değişikliğinin Yabancı Ot Florasını Etkileyen Etkenleri

2.1. Artan Sıcaklıklar

Küresel sıcaklık artışları, yabancı ot ekolojisi ve dağılımındaki değişikliklerin en etkili etkenlerinden biridir. Yüksek sıcaklıklar, yabancı ot türlerinin tohum çimlenmesini, vejetatif

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

büyümesini, üreme gelişimini ve hayatta kalmasını doğrudan etkiler (Hatfield & Prueger, 2015; Patterson, 1995). Birçok yabancı ot, yetiştirilen birçok kültür bitkisine göre daha geniş termal tolerans aralıkları sergiler ve bu da ısınma koşulları altında büyümelerini sürdürmelerine veya hatta artırmalarına olanak tanır (Ziska & Dukes, 2011). Sonuç olarak, artan sıcaklıklar, çok sayıda yabancı ot türünün kutuplara ve yukarıya (rakım) doğru yayılmasını kolaylaştırarak, daha önce etkilenmemiş tarım ekosistemlerine yeni rakiplerin girmesine yol açmaktadır (Parmesan & Yohe, 2003; Walther vd., 2002). Ayrıca, daha yüksek sıcaklıklar yabancı ot yaşam döngülerini hızlandırarak daha kısa nesil sürelerine ve artan tohum üretimine neden olabilir. Bu durum, tek bir büyüme mevsimi içinde daha sık istila döngülerine yol açarak yabancı ot baskısını yoğunlaştırabilir ve yönetim çabalarını zorlaştırabilir (Patterson, 1995; Ziska vd., 2019).

2.2. Yüksek Atmosferik CO_2

Atmosferik CO_2 konsantrasyonundaki sürekli artışın, bitki türlerini fotosentetik yollarına bağlı olarak farklı şekilde etkilemesi beklenmektedir. C_3 yabancı otları, genellikle C_4 bitkilerine kıyasla yüksek CO_2'ye daha güçlü bir pozitif tepki göstererek fotosentetik oranların, biyokütle birikiminin ve su kullanım verimliliğinin artmasına yol açar (Ziska, 2003; Smith vd., 2000). Bu fizyolojik avantaj, birçok yabancı ot türünün tarım sistemlerinde rekabet kabiliyetini artırabilir. Ayrıca, yüksek CO_2 bitki morfolojisini değiştirebilir; bu da yaprak alanının artması ve stoma iletkenliğinin azalması gibi durumları içerir ve dolaylı olarak herbisit alımını ve taşınmasını etkileyebilir (Ziska & Teasdale, 2000). Bu değişiklikler, yapraktan uygulanan herbisitlerin etkinliğini azaltabilir ve böylece kimyasal yabancı ot kontrolü için ek zorluklar yaratabilir (Ziska, 2003).

2.3. Yağış Desenlerindeki Değişiklikler

İklim değişikliğinin, yağış rejimlerini değiştirmesi ve yağış olaylarının hem zamanlamasında hem de yoğunluğunda artan değişkenliğe yol açması beklenmektedir. Bu değişikliklerin yabancı otların ortaya çıkışı, yerleşmesi ve hayatta kalması üzerinde önemli etkileri vardır (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021). Toprak neminin mevcudiyeti, tohum çimlenmesini ve fide oluşumunu düzenleyen kritik bir faktördür ve yağış desenlerindeki değişimler, kuraklığa veya su birikmesi koşullarına daha toleranslı yabancı ot türlerini destekleyebilir (Chauhan, 2020). Özellikle kuraklık koşulları, kültür bitkilerinin rekabet gücünü azaltırken, kuraklığa uyum sağlamış bazı yabancı otların baskın hale gelmesine izin vererek yabancı ot topluluğu bileşimini değiştirebilir (Korres vd., 2016). Öte yandan, aşırı

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

yağış ve sel olayları, sucul veya yarı sucul yabancı ot türlerinin yayılmasını kolaylaştırabilir ve geleneksel yabancı ot yönetimi uygulamalarını bozabilir.

2.4. Aşırı Hava Olayları

Sıcak hava dalgaları, seller, fırtınalar ve uzun süreli kuraklıklar gibi aşırı hava olaylarının artan sıklığı ve yoğunluğu, yabancı ot dinamiklerini daha da etkilemesi beklenmektedir. Bozucu olaylar, hızlı kolonizasyon yeteneklerine sahip fırsatçı ve istilacı yabancı ot türlerini destekleyen ekolojik nişler yaratabilir (Bradley vd., 2010). Aşırı koşullar ayrıca mahsulün dayanıklılığını azaltabilir ve böylece dolaylı olarak yabancı ot rekabet gücünü artırabilir. Örneğin, ısı stresi kültür bitkilerinin büyümesini ve verimini bozabilirken, birçok yabancı ot türü adaptif özellikleri nedeniyle bu koşullar altında gelişmeye devam eder (Hatfield & Prueger, 2015). Ek olarak, aşırı olaylarla ilişkili bozulmalar, çimlenmeyi uyararak veya tohumları tarlalar arasında yeniden dağıtarak toprak tohum bankası dinamiklerini etkileyebilir (Walther vd., 2002). Toplu olarak ele alındığında, bu iklimsel etkenler karmaşık şekillerde etkileşime girerek yabancı ot florasını yeniden şekillendirir ve genellikle yabancı ot yönetimiyle ilgili zorlukları artırır. Bu etkenleri anlamak, gelecekteki yabancı ot dinamiklerini tahmin etmek ve uyarlanabilir, iklime dayanıklı yönetim stratejileri geliştirmek için çok önemlidir.

3. Yabancı Otların Ekolojik ve Biyolojik Tepkileri

3.1. Fenolojik Değişimler

İklim değişikliği, yabancı ot türlerinin fenolojisinde önemli değişikliklere yol açmaktadır; bunlar arasında daha erken çimlenme, hızlandırılmış büyüme ve çiçeklenme ve tohum olgunlaşma zamanlamasında değişiklikler yer almaktadır. Yükselen sıcaklıklar ve yüksek CO_2 seviyeleri, çıkış başlangıcını öne çekebilir ve büyüme mevsimini uzatarak yabancı otların tek bir ekim döneminde birden fazla yaşam döngüsünü tamamlamasına olanak tanır (Cleland vd., 2007; Ziska vd., 2019). Bu tür değişimler, kültür bitkiler ve yabancı otlar arasında zamansal uyumsuzluklara yol açarak, toprak işleme ve herbisit uygulama zamanlaması gibi geleneksel kontrol önlemlerinin etkinliğini azaltabilir (Patterson, 1995). Yetiştirilen ürünlere göre daha erken çıkış, yabancı otlara genellikle rekabet avantajı sağlar ve kritik büyüme aşamalarında kaynakları daha verimli bir şekilde ele geçirmelerine olanak tanır.

3.2. Yayılım Alanı Genişlemesi ve İstilacılık

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

İklim değişikliği, birçok yabancı ot türünün coğrafi olarak yeniden dağılımını kolaylaştırıyor ve çevresel koşullar daha elverişli hale geldikçe daha yüksek enlemlere ve rakımlara doğru yayılıyor (Parmesan & Yohe, 2003; Walther vd., 2002). Bu yayılma, özellikle yüksek ekolojik esneklik ve hızlı kolonizasyon kapasitesi sergileme eğiliminde olan istilacı ve termofilik türler için belirgindir (Bradley vd., 2010). Yeni yabancı ot türleri daha önce etkilenmemiş bölgelerde yerleştikçe, mevcut tarım ekosistemlerini bozabilir ve yeni yönetim zorlukları ortaya çıkarabilirler. Kuraklık, sel ve arazi kullanım değişiklikleri gibi iklim değişkenliğiyle ilişkili artan bozulma, fırsatçı yabancı ot türleri tarafından kolayca sömürülebilen açık nişler yaratarak istilacılığı daha da teşvik eder (Bradley vd., 2010). Sonuç olarak, yabancı ot florasındaki değişimler sadece niceliksel değil, aynı zamanda nitelikseldir ve daha agresif ve kontrol edilmesi zor türlerin ortaya çıkmasını içerir.

3.3. Fizyolojik ve Morfolojik Adaptasyonlar

Yabancı ot türleri, değişen iklim koşullarına uyum sağlayabilmek için fizyolojik ve morfolojik özelliklerinde çeşitli adaptasyonlar geliştirmektedir. Atmosferdeki CO_2 derişiminin artması, özellikle C_3 metabolizmasına sahip yabancı otlarda fotosentez hızını, biyokütle üretimini ve su kullanım etkinliğini artırabilmektedir (Ziska, 2003; Smith vd., 2000). Bu durum, özellikle suyun sınırlı olduğu koşullarda, yabancı otların kültür bitkileri karşısında rekabet üstünlüğü kazanmasına neden olabilmektedir. İklim değişikliğine bağlı olarak gelişen morfolojik uyumlar arasında yaprak alanının artması, kök sisteminin daha derinlere ulaşması ve bitki mimarisinde meydana gelen değişimler yer almaktadır. Bu özellikler, bitkilerin su ve besin maddelerine erişimini kolaylaştırırken çevresel streslere karşı toleranslarını da artırmaktadır (Korres vd., 2016). Bunun yanı sıra, fenotipik esneklik sayesinde yabancı otlar, büyüme ve gelişmelerini çevresel koşullardaki değişimlere göre düzenleyebilmekte ve farklı ekolojik koşullarda yaşamlarını sürdürebilmektedir (Ziska & Dukes, 2011). Bu adaptif özellikler, iklim değişikliğinin etkisiyle tarımsal ekosistemlerde yabancı otların yaygınlığını, kalıcılığını ve rekabet gücünü artıran temel etmenler arasında değerlendirilmektedir.

3.4. Toprak Tohum Bankası Dinamiği

Toprak tohum bankası, yabancı ot popülasyon dinamiklerinin kritik bir bileşenini temsil eder ve iklim faktörlerine karşı oldukça hassastır. Sıcaklık ve nem koşulları, tohum dormansisini, çimlenmesini ve ömrünü düzenleyerek tohum bankasının büyüklüğünü ve bileşimini etkiler (Baskin & Baskin, 2014). İklim değişikliğinin neden olduğu bu faktörlerdeki değişimler, yabancı otların ortaya çıkma zamanlamasını ve büyüklüğünü değiştirerek

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

öngörülemeyen istila modellerine yol açabilir. Daha yüksek sıcaklıklar, tohum dormansisini daha hızlı kırarak daha erken ve daha senkronize çimlenme olaylarına neden olabilirken, dalgalanan nem koşulları daha geniş çimlenme gereksinimlerine sahip türleri destekleyebilir (Chauhan, 2020). Ek olarak, aşırı hava olayları, tohumları toprak profili içinde yeniden dağıtarak çevresel ipuçlarına ve yönetim uygulamalarına maruz kalmalarını etkileyebilir. Genel olarak, tohum bankası dinamiklerindeki değişiklikler, sorunlu yabancı ot türlerinin kalıcılığını artırabilir ve uzun vadeli kontrol stratejilerini karmaşıklaştırabilir; bu da uyarlanabilir ve entegre yönetim yaklaşımlarına olan ihtiyacı vurgular.

4. İklim Değişikliğinin Bitki-Yabancı Ot Etkileşimleri Üzerindeki Etkileri

4.1. Bitkiler ve Yabancı Otlar Arasındaki Rekabet Dengesi

İklim değişikliğinin, bitkiler ve yabancı otlar arasındaki rekabet dinamiklerini değiştirmesi ve genellikle daha yüksek ekolojik esneklik ve adaptasyon kapasiteleri nedeniyle yabancı ot türlerini desteklemesi beklenmektedir (Ziska & Dukes, 2011; Patterson, 1995). Yabancı otlar tipik olarak hızlı büyüme, verimli kaynak edinimi ve esnek yaşam döngüsü stratejileri sergiler ve bu da onların birçok bitkiye göre değişen çevresel koşullara daha etkili bir şekilde yanıt vermelerini sağlar (Korres vd., 2016). Yüksek CO_2 konsantrasyonları, özellikle C_3 yabancı otlarında fotosentetik verimliliği ve biyokütle üretimini artırabilir, böylece bitkilere göre rekabet güçlerini artırabilir (Ziska, 2003; Smith vd., 2000). Aynı zamanda, yükselen sıcaklıklar, türlere özgü termal optimumlara bağlı olarak ekinleri ve yabancı otları farklı şekilde etkileyebilir ve potansiyel olarak tarımsal ekosistemler içindeki rekabet hiyerarşilerini değiştirebilir (Hatfield ile Prueger, 2015). Su mevcudiyeti de rekabeti daha da düzenler, çünkü kuraklık koşulları genellikle ekin gelişimini azaltırken kuraklığa dayanıklı yabancı ot türlerini destekler ve bu da yabancı ot hakimiyetinin artmasına yol açar (Korres vd., 2016). Bu birleşik etkiler, iklim değişikliğinin ekin-yabancı ot rekabetini yoğunlaştırabileceğini, bunun da daha fazla kaynak tükenmesine ve ekin performansının azalmasına yol açabileceğini göstermektedir.

4.2. Verim Etkileri

İklim değişikliği altında ekin-yabancı ot etkileşimlerindeki değişikliklerin tarımsal verimlilik üzerinde doğrudan sonuçları vardır. Artan yabancı ot rekabeti, ışık, besin ve su için yoğunlaşan rekabet nedeniyle daha yüksek verim kayıplarına yol açabilir (Oerke, 2006). Yüksek CO_2 koşulları altında, mahsuller daha hızlı büyüme gösterebilse de, eş zamanlı yabancı ot büyümesinin uyarılması genellikle bu kazanımları dengeleyerek verim üzerinde net negatif etkilere yol açar (Ziska & Dukes, 2011). Dahası, yabancı ot fenolojisindeki değişimler—

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

örneğin daha erken ortaya çıkma—yabancı otların mahsullerden önce yerleşmesine ve kritik erken aşamalarda mahsul büyümesini baskılama yeteneklerini artırmasına olanak tanır (Cleland vd., 2007). Isı ve kuraklık da dahil olmak üzere iklim kaynaklı stres koşulları, mahsul direncini zayıflatırken uyum sağlayabilen yabancı ot türlerinin varlığını sürdürmesine izin vererek verim kayıplarını daha da kötüleştirebilir (Hatfield & Prueger, 2015). Genel olarak, iklim değişikliği ve yabancı ot baskısı arasındaki etkileşimin, mahsul veriminde değişkenliği ve belirsizliği artırması ve küresel gıda güvenliği için önemli zorluklar oluşturması beklenmektedir.

4.3. Ürün Bazında İklim Değişikliğinin Yabancı Ot Rekabetine Etkileri

İklim değişikliğinin mahsul–yabancı ot etkileşimleri üzerindeki etkileri, yetiştirilen bitki türünün fizyolojik özellikleri, uygulanan tarımsal yönetim yöntemleri ve bölgesel çevresel koşullara bağlı olarak farklı tarım sistemlerinde önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, iklim değişikliğinin yabancı ot rekabeti üzerindeki etkileri her mahsul için aynı düzeyde ortaya çıkmamakta; mahsulün fotosentetik özellikleri, yetiştirme koşulları ve üretim sistemi bu süreci doğrudan şekillendirmektedir. Buğday ve pirinç gibi C_3 tahıl sistemlerinde, atmosferik CO_2 konsantrasyonundaki artış ile yükselen sıcaklıkların birçok yabancı ot türünün büyüme ve gelişmesini hızlandırdığı, bunun sonucunda yabancı otların rekabet gücünün arttığı ve ürün veriminde daha yüksek kayıpların meydana gelebildiği bildirilmektedir (Ziska vd., 2010). Özellikle C_3 yabancı ot türlerinin yüksek CO_2 koşullarında fotosentetik etkinliklerinin artması, bu türlerin kültür bitkileri karşısında daha avantajlı hâle gelmesine neden olmaktadır. Buna karşılık, C_4 fotosentez mekanizmasına sahip mısır gibi ürünlerde, yükselen CO_2 düzeylerinin sağladığı fizyolojik avantaj daha sınırlı kalmaktadır. Bu durum, C_3 yabancı ot türlerinin rekabet üstünlüğü kazanmasına, yabancı ot topluluklarının tür bileşiminde değişikliklerin yaşanmasına ve zamanla baskın yabancı ot türlerinin farklılaşmasına yol açabilmektedir (Ziska, 2003). Pirinç üretim sistemlerinde ise iklim değişikliğinin etkileri yalnızca sıcaklık ve CO_2 artışıyla sınırlı değildir. Yağış rejimlerindeki değişimler ve sulama uygulamalarındaki farklılıklar, özellikle sucul ve yarı sucul yabancı ot türlerinin yayılışını teşvik ederek yabancı ot yönetimini daha karmaşık bir hâle getirmektedir. Su yönetimindeki değişikliklerin iklim değişkenliğiyle birlikte değerlendirilmesi, pirinç tarlalarında etkili yabancı ot kontrol stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Chauhan, 2020). Bu bulgular, iklim değişikliğinin yabancı ot dinamikleri üzerindeki etkilerinin ürün türüne ve yetiştirme sistemine göre farklılık gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Dolayısıyla gelecekte uygulanacak yabancı ot yönetim stratejilerinin, yalnızca mevcut yabancı ot florasını

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

değil, aynı zamanda öngörülen iklim değişikliklerini, bölgesel çevresel koşulları ve mahsule özgü özellikleri de dikkate alacak şekilde planlanması gerekmektedir. Ekolojik süreçlerin tarımsal uygulamalarla bütünleştirilmesi, değişen bitki–yabancı ot etkileşimlerinden kaynaklanabilecek olumsuz etkilerin azaltılması ve sürdürülebilir tarımsal üretimin devamlılığının sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

5. İklim Değişikliği Altında Herbisit Performansı ve Direnci

5.1. Herbisit Etkinliği

İklim değişikliğinin, bitki fizyolojisi, çevresel koşullar ve herbisit davranışı üzerindeki etkileri yoluyla herbisit performansını önemli ölçüde etkilemesi beklenmektedir. Sıcaklık, bağıl nem ve toprak nemi, bitkilerde herbisit emilimi, taşınması ve metabolizmasının temel belirleyicileridir (Sharma & Singh, 2001; Stephen O. Duke, 2012). Yüksek sıcaklıklar, kütiküler geçirgenliği ve metabolik aktiviteyi artırarak herbisit alımını potansiyel olarak artırabilir, ancak aynı zamanda detoksifikasyon süreçlerini hızlandırarak genel etkinliği azaltabilir (Duke, 2012). Benzer şekilde, su stresi koşulları, özellikle kuraklığa adapte olmuş yabancı ot türlerinde, stoma iletkenliğinin azalması ve yaprak kütiküllerinin kalınlaşması nedeniyle herbisit emilimini sınırlayabilir (Kudsk & Kristensen, 1992). Tersine, yüksek nem, damlacık tutulumunu uzatarak ve penetrasyonu kolaylaştırarak herbisit performansını artırabilir (Sharma & Singh, 2001). Yüksek atmosferik CO_2 seviyeleri, yaprak kalınlığının artması ve stoma yoğunluğunun azalması gibi bitki morfolojisini ve fizyolojisini de değiştirebilir; bu da herbisit alımını ve taşınmasını engelleyebilir (Ziska & Teasdale, 2000). Bu karmaşık etkileşimler, gelecekteki iklim senaryoları altında herbisit etkinliğinin oldukça değişken ve türe özgü olacağını ve yabancı ot kontrol stratejilerini karmaşıklaştıracağını göstermektedir.

5.2. Herbisit Direncinin Evrimi

İklim değişikliği, seçilim baskılarını yoğunlaştırarak ve subletal herbisit maruziyetinin sıklığını artırarak herbisit dirençli yabancı ot popülasyonlarının evrimini ve yayılmasını hızlandırabilir. Çevresel değişkenlik, herbisit etkinliğini azaltabilir, kısmen dirençli bireylerin hayatta kalmasına ve üremesine izin vererek direnç evrimini teşvik edebilir (Powles & Yu, 2010; Délye, 2013). Ayrıca, daha sıcak koşullar altında daha kısa yabancı ot yaşam döngüleri ve artan üreme çıktısı, yılda nesil sayısını artırarak direnç evrim hızını artırabilir (Neve vd., 2009). İklim değişikliğine bağlı olarak ekim sistemlerinde ve herbisit kullanım modellerinde

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

meydana gelen değişiklikler, seçilim rejimlerini değiştirerek direnç gelişimine daha da katkıda bulunabilir. ALS ve ACCase inhibitörleri de dahil olmak üzere başlıca herbisit gruplarına karşı direncin yaygınlığı, mevcut yabancı ot yönetimi sistemlerinin kırılganlığını vurgulamakta ve proaktif direnç yönetimi stratejilerine duyulan ihtiyacın altını çizmektedir (Heap, 2026).

5.3. Değişen Ortamlarda Direnç Mekanizmaları

Herbisit direnç mekanizmaları genel olarak hedef bölge direnci (TSR) ve hedef bölge dışı direnç (NTSR) olarak kategorize edilebilir ve her ikisi de çevresel koşullardan etkilenebilir. TSR, herbisit hedef enziminde mutasyonları içerir ve herbisit bağlanmasını ve etkinliğini azaltırken, NTSR ise herbisitlerin metabolizmasının artmasını, alımının azalmasını veya tutulmasını içerir (Délye, 2013). İklim değişikliği, özellikle NTSR mekanizmalarının evrimini destekleyebilir, çünkü bunlar genellikle çevresel stres altında yukarı regüle edilebilen karmaşık fizyolojik süreçleri içerir (Délye, 2013; Yu & Powles, 2014). Örneğin, sitokrom P450 monooksijenazlar ve glutatyon S-transferazlar gibi detoksifikasyon enzimlerinin artan ifadesi, stres koşulları altında herbisit metabolizmasının artmasıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, sıcaklık ve su mevcudiyeti gibi çevresel faktörler, direnç mekanizmalarıyla ilgili gen ifadesini düzenleyebilir ve potansiyel olarak yabancı ot popülasyonlarındaki direnç seviyesini ve istikrarını etkileyebilir. Genetik ve çevre arasındaki bu dinamik etkileşim, direnç tahminini ve yönetimini karmaşıklaştırır.

5.4. Herbisit Bazlı Yabancı Ot Yönetimi İçin Çıkarımlar

İklim değişikliğinin herbisit etkinliği ve direnç evrimi üzerindeki birleşik etkileri, sürdürülebilir yabancı ot yönetimi için önemli zorluklar oluşturmaktadır. Azalan herbisit performansı ve artan direnç yaygınlığı, daha yüksek uygulama oranlarına veya daha sık uygulamalara daha fazla bağımlılığa yol açarak üretim maliyetlerini ve çevresel riskleri artırabilir (Norsworthy vd., 2012). Bu zorlukların üstesinden gelmek için, kapsamlı bir entegre yabancı ot yönetimi (IWM) yaklaşımının bir parçası olarak herbisit kullanımını kimyasal olmayan kontrol yöntemleriyle entegre etme ihtiyacı giderek artmaktadır. Herbisit rotasyonu, karışım uygulamaları, ürün çeşitlendirmesi ve rekabetçi ürün çeşitlerinin kullanımı gibi stratejiler, direnç gelişimini azaltmaya ve herbisit etkinliğini korumaya yardımcı olabilir (Norsworthy vd., 2012). Ek olarak, hassas tarım ve karar destek sistemlerindeki gelişmeler, değişken çevresel koşullar altında herbisit uygulamasını optimize etme, etkinliği artırma ve direnç için seçilim baskısını azaltma fırsatları sunmaktadır. Genel olarak, herbisit bazlı yabancı ot yönetimini iklim değişikliğine uyarlamak, çevresel faktörler, yabancı ot biyolojisi ve herbisit

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

dinamikleri arasındaki etkileşimlerin daha derinlemesine anlaşılmasını ve daha dayanıklı ve çeşitlendirilmiş yönetim stratejilerinin benimsenmesini gerektirir.

6. Ortaya Çıkan Yabancı Ot Florası ve Gelecekteki Riskler

6.1. Tür Bileşimindeki Değişimler

İklim değişikliğinin, tarımsal ekosistemlerdeki yabancı ot türü bileşiminde önemli değişimlere yol açması ve daha sıcak sıcaklıklara, yüksek CO_2 seviyelerine ve değişken nem koşullarına daha iyi uyum sağlayan türleri desteklemesi beklenmektedir (Ziska & Dukes, 2011; Bradley vd., 2010). Bu değişimler, geleneksel olarak baskın olan yabancı ot türlerinin yerini daha rekabetçi ve strese dayanıklı taksonların almasına neden olabilir. Birçok bölgede, termofilik türler ve yüksek fenotipik esnekliğe sahip türlerin bolluğunun artması, daha az uyum sağlayabilen türlerin ise azalması muhtemeldir (Walther vd., 2002). Bu tür bileşimsel değişiklikler, yabancı ot topluluğunun yapısını ve işlevini önemli ölçüde değiştirebilir ve yeni rekabet, kaynak kullanımı ve mahsullerle etkileşim modellerine yol açabilir. Önemli olarak, ortaya çıkan yabancı ot florası, mevcut kontrol önlemlerine daha az yanıt veren türleri içerebilir, bu da yönetim karmaşıklığını ve maliyetlerini artırır (Korres vd., 2016).

6.2. İstilacı ve Yabancı Ot Türleri

İklim değişikliğinin, elverişli çevresel koşullar yaratarak ve rahatsızlık sıklığını artırarak istilacı ve yabancı ot türlerinin yayılmasını ve yerleşmesini artıracağı öngörülmektedir (Bradley vd., 2010). Birçok istilacı ot, hızlı büyüme, bol tohum üretimi ve yüksek dağılım gibi özelliklere sahiptir ve bu da değişen iklim koşulları altında yeni alanları verimli bir şekilde kolonize etmelerini sağlar. Daha sıcak sıcaklıklar ve değişen yağış rejimleri, daha önce belirli istilacı türlerin dağılımını sınırlayan iklimsel engelleri ortadan kaldırarak, yeni tarımsal ekolojik bölgelere yayılmalarını kolaylaştırabilir (Parmesan & Yohe, 2003). Ek olarak, artan küresel ticaret ve insan kaynaklı dağılım, yabancı otların girişine ve yayılmasına daha da katkıda bulunur. İstilacı türlerin çoğalması, tarımsal verimlilik, biyoçeşitlilik ve ekosistem istikrarı için önemli riskler oluşturmakta ve genellikle daha yoğun ve maliyetli yönetim müdahaleleri gerektirmektedir.

6.3. “Yeni Sorunlu Yabancı Otların” Evrimi

İklim kaynaklı çevresel değişiklikler, daha önce önemsiz olan ancak değişen koşullar altında baskın hale gelen “yeni sorunlu yabancı otların” ortaya çıkmasına yol açabilir. Bu türler, herbisit toleransı, hızlı adaptasyon ve yüksek üreme kapasitesi gibi özellikler sergileyerek

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

gelecekteki iklimlerde gelişmelerini sağlayabilir (Neve vd., 2009). Bazı durumlarda, iklim değişikliğine yanıt olarak ekim sistemlerinde ve yönetim uygulamalarında yapılan değişiklikler, istemeden belirli yabancı ot türlerini destekleyerek, bunların önemli zararlılar olarak yükselişine katkıda bulunabilir. Örneğin, azaltılmış toprak işleme sistemleri ve ekim tarihlerindeki değişiklikler, seçilim baskılarını değiştirerek belirli yabancı ot topluluklarının baskınlığını teşvik edebilir (Swanton vd., 2010). Yeni sorunlu yabancı otların ortaya çıkması, potansiyel riskleri öngörmek ve azaltmak için sürekli izleme ve uyarlanabilir yönetim stratejilerine duyulan ihtiyacın altını çizmektedir.

6.4. Bölgesel Projeksiyonlar ve Tahmin Modellemesi

Tahmin modellemesi, iklim değişikliği senaryoları altında yabancı ot florasındaki gelecekteki değişimleri anlamada ve öngörmede çok önemli bir rol oynamaktadır. Tür dağılım modelleri (SDM'ler) ve ekolojik niş modelleri, iklim değişkenlerine dayalı olarak yabancı ot dağılımındaki potansiyel değişiklikleri öngörmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Bradley vd., 2010). Bu modeller, birçok yabancı ot türünün özellikle daha yüksek enlemlere ve rakımlara doğru yayılma olasılığının yüksek olduğunu, bazılarının ise uygunsuz hale gelen bölgelerde daralabileceğini göstermektedir. Ancak, bu projeksiyonların doğruluğu, iklim modelleri, tür etkileşimleri ve adaptasyon kapasitesiyle ilgili belirsizliklerden etkilenmektedir. Ekolojik, fizyolojik ve genetik verilerin tahmin çerçevelerine entegre edilmesi, model güvenilirliğini artırabilir ve daha bilinçli karar vermeyi destekleyebilir (Korres vd., 2016). Genel olarak, tahmin araçlarının kullanımı, ortaya çıkan riskleri belirlemek, gözetim çabalarına rehberlik etmek ve iklim değişikliği bağlamında proaktif yabancı ot yönetimi stratejileri geliştirmek için gereklidir.

7. Yabancı Ot Yönetimi Stratejileri İçin Çıkarımlar

7.1. Geleneksel Yaklaşımların Sınırlamaları

Birçok tarım ekosisteminde geleneksel yabancı ot yönetimi, özellikle herbisitlere olmak üzere kimyasal kontrole büyük ölçüde dayanmaktadır. Kısa vadede etkili olsa da, bu yaklaşım değişen iklim koşulları altında giderek daha fazla kısıtlanmaktadır. Sıcaklık, toprak nemi ve atmosferik CO_2'deki değişkenlik, herbisit etkinliğini azaltabilir ve yabancı ot kontrol sonuçlarında tutarsızlığı artırabilir (Sharma & Singh, 2001; Stephen O. Duke, 2012). Ek olarak, herbisitlerin yaygın ve tekrarlanan kullanımı, dirençli yabancı ot popülasyonlarının evrimini hızlandırarak, kimyasal bazlı stratejilerin uzun vadeli sürdürülebilirliğini azaltmaktadır (Powles & Yu, 2010; Norsworthy vd., 2012). İklim değişikliği, yabancı ot çıkış modellerini değiştirerek

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ve büyüme mevsimlerini uzatarak bu sınırlamaları daha da kötüleştirir ve herbisit uygulamalarının zamanlamasını ve etkinliğini optimize etmeyi daha da zorlaştırır. Sonuç olarak, gelecekteki iklim senaryoları altında yalnızca geleneksel yaklaşımlara güvenmek yeterli kontrol sağlamayacaktır.

7.2. İklim Değişikliği Altında Entegre Yabancı Ot Yönetimi

Entegre Yabancı Ot Yönetimi (IWM), iklim kaynaklı yabancı ot florasındaki değişikliklerin yarattığı zorlukların üstesinden gelmek için giderek daha dayanıklı ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. IWM, yabancı ot baskısını azaltırken herbisitlere olan bağımlılığı en aza indirgemek için kültürel, mekanik, biyolojik ve kimyasal yöntemler de dahil olmak üzere birden fazla kontrol stratejisini birleştirir (Norsworthy vd., 2012; Swanton & Weise, 1991). İklim değişikliği koşulları altında, yönetim uygulamalarının çeşitlendirilmesi özellikle önemli hale gelir. Ürün rotasyonu, değiştirilmiş ekim tarihleri ve rekabetçi kültür bitkileri çeşitlerinin kullanımı gibi uygulamalar, yabancı otların gelişimlerini baskılayabilir ve direnç için seçilim baskısını azaltabilir (Korres vd., 2016). Toprak işleme ve çapalama gibi mekanik yöntemler, yabancı ot yaşam döngülerini bozmak için stratejik olarak entegre edilebilirken, biyolojik kontrol ajanları belirli yabancı ot türlerinin uzun vadeli baskılanmasında ek bir rol oynayabilir. Entegre yabancı ot yönetiminin başarısı, yerel yabancı ot ekolojisini anlamaya ve yönetim uygulamalarını değişen çevresel koşullara uyarlamaya, esnekliği ve sistem tabanlı yaklaşımları vurgulamaya bağlıdır.

7.3. İklim Dostu Yabancı Ot Yönetimi

İklim dostu yabancı ot yönetimi, iklim direnci, sürdürülebilirlik ve kaynak kullanım verimliliği ilkelerini yabancı ot kontrol stratejilerine entegre eder. Bu yaklaşım, çevresel etkileri azaltırken ve sistem uyarlanabilirliğini artırırken etkili yabancı ot baskısını sürdürmeyi amaçlar (FAO, 2013). Temel bileşenler arasında strese dayanıklı ürün çeşitlerinin kullanımı, koruyucu tarım uygulamaları (örneğin, minimum toprak işleme, kalıntı tutma) ve yabancı otlara karşı ürün rekabet gücünü artırmak için iyileştirilmiş su yönetimi yer almaktadır. Ek olarak, gerçek zamanlı çevresel koşullara yanıt veren uyarlanabilir yönetim stratejileri -örneğin, ekim tarihlerinin veya herbisit uygulama zamanlamasının ayarlanması- değişken iklimlerde kontrol verimliliğini artırabilir (Korres vd., 2016). İklim dostu yaklaşımlar ayrıca, yabancı ot yönetimi uygulamalarıyla ilişkili sera gazı emisyonlarını azaltmayı vurgulayarak daha geniş sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunur.

7.4. Hassas Tarım ve Dijital Teknolojiler

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Hassas tarım ve dijital teknolojilerdeki gelişmeler, iklim değişikliği altında yabancı ot yönetimini iyileştirmek için umut vadeden araçlar sunmaktadır. Uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ve yapay zekâ (YZ) tabanlı karar destek sistemleri gibi teknolojiler, bölgeye özgü yabancı ot tespiti ve yönetimini mümkün kılmaktadır (Zhang vd., 2018). Değişken oranlı püskürtme ve nokta uygulaması da dahil olmak üzere hassas herbisit uygulaması, yabancı otları daha doğru bir şekilde hedefleyerek, girdi maliyetlerini ve çevresel etkileri azaltarak herbisit kullanımını optimize edebilir. Ek olarak, makine öğrenme algoritmaları, yabancı ot çıkış modellerini tahmin etmek ve iklim koşullarına bağlı olarak en uygun kontrol stratejilerini önermek için büyük veri kümelerini analiz edebilir. Bu teknolojiler, tekdüze, reaktif yabancı ot yönetiminden proaktif, veri odaklı yaklaşımlara geçişi kolaylaştırarak, iklim değişkenliği karşısında verimliliği ve dayanıklılığı artırmaktadır.

7.5. Politika, Yaygınlaştırma ve Çiftçi Benimseme

İklim kaynaklı yabancı ot florasındaki değişikliklere etkili uyum, destekleyici politika çerçeveleri, yaygınlaştırma hizmetleri ve çiftçi katılımı gerektirir. Sürdürülebilir uygulamaları teşvik eden, çeşitlendirmeyi destekleyen ve araştırma ve yeniliği destekleyen politikalar, uzun vadeli dayanıklılık için elzemdir (Norsworthy vd., 2012). Yaygınlaştırma programları, çiftçilere bilgi ve teknolojilerin aktarılmasında, entegre ve iklim dostu yabancı ot yönetimi uygulamalarını benimsemelerine yardımcı olmada kritik bir rol oynar. Çiftçi eğitimi ve kapasite geliştirme, belirsiz ve değişken iklim koşulları altında karar verme süreçlerini iyileştirmek için özellikle önemlidir. Değişen iklimde yabancı ot yönetimiyle ilgili hem yerel hem de küresel zorlukları ele alan pratik ve ölçeklenebilir çözümler geliştirmek için araştırmacılar, politika yapıcılar ve çiftçiler arasında iş birliği gereklidir.

8. Araştırma Açıkları ve Gelecek Yönelimler

İklim değişikliği-yabancı ot etkileşimlerinin anlaşılmasında önemli ilerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen, etkili ve dayanıklı yabancı ot yönetimi stratejilerinin geliştirilmesini sınırlayan birçok kritik bilgi açığı bulunmaktadır. Bu açıkların giderilmesi, ekoloji, ziraat, fizyoloji ve veri bilimini entegre eden koordineli, çok disiplinli araştırma çabalarını gerektirir.

8.1. Sınırlı Uzun Vadeli ve Saha Bazlı Kanıtlar

İklim değişikliğinin yabancı otlar üzerindeki etkilerine ilişkin mevcut bilgilerin çoğu, saha koşullarının karmaşıklığını tam olarak yansıtmayabilecek kontrollü ortam çalışmaları veya

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

kısa vadeli deneylerden elde edilmektedir (Ziska & Dukes, 2011; Korres vd., 2016). Yabancı ot popülasyonlarının zaman içinde ve farklı tarım ekosistemlerinde nasıl tepki verdiğini anlamak için gerçekçi iklim değişkenliğini içeren uzun vadeli saha deneyleri şarttır. Gelecekteki araştırmalar, sıcaklık, CO_2, yağış ve yönetim uygulamalarının yabancı ot dinamikleri ve mahsul-yabancı ot etkileşimleri üzerindeki birleşik etkilerini değerlendirmek için çok yıllık ve çok lokasyonlu çalışmalara öncelik vermelidir.

8.2. Yabancı Ot Adaptasyon Mekanizmalarının Eksik Anlaşılması

Yabancı otların yüksek fenotipik esneklik ve adaptasyon kapasitesi sergilediği iyi bilinmesine rağmen, altta yatan genetik, fizyolojik ve epigenetik mekanizmalar yeterince anlaşılmamıştır. Özellikle, çevresel strese hızlı adaptasyonu sağlamada epigenetik düzenlemenin rolü, yeni bir ilgi alanıdır (Délye, 2013; Juenger, 2013).

Moleküler biyoloji ve genomikteki gelişmeler, bu mekanizmaları daha ayrıntılı olarak araştırmak için fırsatlar sunmaktadır. Omik yaklaşımları (örneğin, genomik, transkriptomik, metabolomik) ekolojik çalışmalarla entegre etmek, yabancı otların iklim değişikliğine nasıl adapte olduğunu ve kontrol önlemlerine karşı direnç geliştirdiğini anlamamızı geliştirebilir.

8.3. Tahmin Modellemesi ve Tahminlemedeki Eksiklikler

Tahmin modelleri, gelecekteki yabancı ot dağılımlarını ve yönetim zorluklarını öngörmek için değerli araçlardır; ancak doğrulukları genellikle iklim projeksiyonlarındaki belirsizlikler ve biyolojik etkileşimlerin eksik temsili nedeniyle sınırlıdır (Bradley vd., 2010). Mevcut birçok model, tür etkileşimleri, evrimsel adaptasyon ve yönetim müdahaleleri gibi faktörleri tam olarak hesaba katmamaktadır. Gelecekteki modelleme çalışmaları, iklim değişkenlerini yabancı ot biyolojisi, ürün sistemleri ve yönetim uygulamalarıyla entegre eden dinamik ve süreç tabanlı yaklaşımları içermelidir. Ekolojik modellerin makine öğrenme teknikleriyle birleştirilmesi, tahmin doğruluğunu daha da artırabilir ve karar vermeyi destekleyebilir.

8.4. Yabancı Ot Yönetim Stratejilerinin Yetersiz Entegrasyonu

Entegre yabancı ot yönetimi (IWM) yaygın olarak tavsiye edilse de, iklim değişikliği koşulları altında pratik uygulaması sınırlı kalmaktadır. Çeşitli ortamlarda ve ürün sistemlerinde birleştirilmiş yönetim stratejilerinin etkinliğini değerlendiren araştırmalara ihtiyaç vardır (Norsworthy vd., 2012). Gelecekteki çalışmalar, kültürel, mekanik, biyolojik ve kimyasal kontrol yöntemlerinin entegrasyonunu optimize eden, konuma özgü, iklime uyumlu yönetim

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

çerçeveleri geliştirmeye odaklanmalıdır. Buna ek olarak, herbisitlere olan bağımlılığın azaltılmasına ve sürdürülebilir alternatiflerin teşvik edilmesine daha fazla önem verilmelidir.

8.5. Gelişen Teknolojiler ve Veri Entegrasyonu

Uzaktan algılama, yapay zeka ve büyük veri analitiği de dahil olmak üzere dijital tarımın hızlı ilerlemesi, yabancı ot yönetimini iyileştirmek için yeni fırsatlar sunmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin pratik tarım sistemlerine entegrasyonu henüz erken aşamalarındadır (Zhang vd., 2018). Gelecekteki araştırmalar, bu araçların ekolojik bilgiyle nasıl etkili bir şekilde birleştirilebileceğini ve gerçek zamanlı, yere özgü yabancı ot yönetimi çözümlerinin nasıl geliştirilebileceğini araştırmalıdır. Bu teknolojilerin potansiyelini tam olarak gerçekleştirmek için ziraat mühendisleri, veri bilimcileri ve mühendisler arasında disiplinlerarası işbirliği şart olacaktır.

8.6. Sosyoekonomik ve Politika Hususları

İklim değişikliği altında yabancı ot yönetimi yalnızca teknik bir zorluk değil, aynı zamanda sosyoekonomik bir sorundur. Yeni teknolojilerin ve yönetim uygulamalarının benimsenmesi, maliyet, erişilebilirlik, bilgi ve politika desteği gibi faktörlere bağlıdır. Ancak bu yönler, yabancı ot bilimi araştırmalarında genellikle yeterince temsil edilmemektedir (FAO, 2013). Gelecekteki araştırmalar, önerilen yönetim stratejilerinin uygulanabilirliğini ve ölçeklenebilirliğini değerlendirmek için sosyoekonomik analizleri içermelidir. Sürdürülebilir uygulamaları destekleyen, yeniliği teşvik eden ve bilgi transferini kolaylaştıran politika çerçeveleri, başarılı adaptasyon için kritik öneme sahip olacaktır.

8.7. Sistem Tabanlı Bir Yaklaşıma Doğru

İklim değişikliğinin ortaya koyduğu karmaşık zorlukların ele alınması, iklim, ürünler, yabancı otlar, toprak ve yönetim uygulamaları arasındaki etkileşimleri dikkate alan sistem tabanlı yaklaşımlara doğru bir geçişi gerektirir. Ekolojik, tarımsal ve teknolojik perspektifleri entegre eden bütünsel çerçeveler, daha sağlam ve sürdürülebilir çözümler sağlayabilir (Korres vd., 2016). Gelecekteki araştırmalar, dayanıklı tarım sistemleri geliştirmek için bilimsel disiplinler ve paydaş grupları arasında iş birliğini teşvik eden disiplinler arası ve disiplinler ötesi yaklaşımları vurgulamalıdır.

9. Sonuçlar

İklim değişikliği, tarımsal ekosistemlerdeki yabancı ot florasını temelden yeniden şekillendiriyor ve bu durum, ürün verimliliği, yönetim etkinliği ve tarımsal sürdürülebilirlik

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

açısından önemli sonuçlar doğuruyor. Sıcaklık, atmosferik CO_2 konsantrasyonu, yağış rejimleri ve aşırı hava olaylarının sıklığındaki değişiklikler, yabancı ot türlerinin bileşiminde, coğrafi dağılımında ve fenolojisinde kaymalara neden oluyor. Bu değişiklikler, yüksek ekolojik esneklikleri, hızlı adaptasyonları ve rekabet yetenekleri nedeniyle yabancı ot türlerini genellikle destekleyerek, ürün-yabancı ot etkileşimlerini yoğunlaştırıyor ve verim kayıpları riskini artırıyor. Buna paralel olarak, iklim değişikliği herbisitlerin performansını etkiliyor ve herbisit direncini hızlandırıyor. Çevresel değişkenlik, herbisit etkinliğini azaltabilir ve dirençli bireylerin hayatta kalmasını teşvik ederek, geleneksel, herbisit bağımlı yönetim sistemlerinin sürdürülebilirliğini daha da zorlaştırabilir. İstilacı ve iklime adapte olmuş taksonlar da dahil olmak üzere yeni ve daha agresif yabancı ot türlerinin ortaya çıkması, gelecekteki koşullar altında yabancı ot yönetimine bir karmaşıklık katmanı daha ekliyor. Bu zorlukların üstesinden gelmek, reaktif, tek yöntemli yaklaşımlardan proaktif, entegre ve iklim değişikliğine dayanıklı yabancı ot yönetimi stratejilerine doğru bir paradigma değişimini gerektirir. Kontrol yöntemlerinin çeşitlendirilmesi, ürün rekabet gücünün artırılması ve herbisitlerin stratejik kullanımıyla desteklenen Entegre Yabancı Ot Yönetimi (IWM), sürdürülebilir yabancı ot kontrolü için sağlam bir çerçeve sunmaktadır. Buna ek olarak, iklim dostu uygulamaların ve hassas tarım teknolojilerinin benimsenmesi, yabancı ot yönetimi sistemlerinin verimliliğini, uyarlanabilirliğini ve çevresel sürdürülebilirliğini artırabilir. İklim-yabancı ot etkileşimlerinin anlaşılmasında kaydedilen ilerlemelere rağmen, özellikle uzun vadeli saha tepkileri, yabancı otların adaptasyon mekanizmaları ve tahmine dayalı modelleme ve dijital araçların entegrasyonu konusunda önemli araştırma boşlukları bulunmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, disiplinlerarası araştırmalara ve ekolojik, agronomik, teknolojik ve sosyoekonomik boyutları içeren sistem tabanlı yaklaşımların geliştirilmesine odaklanmalıdır. Sonuç olarak, iklim değişikliği yabancı ot yönetimi için hem zorluklar hem de fırsatlar sunmaktadır. Bilimsel kanıtlarla desteklenen ve yenilik ve politika ile desteklenen proaktif adaptasyon, devam eden çevresel değişim karşısında dayanıklı ve sürdürülebilir tarım sistemlerini sağlamak için hayati önem taşıyacaktır.

Kaynaklar

Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination* (2nd ed.). Academic Press.

Bradley, B. A., Blumenthal, D. M., Wilcove, D. S., & Lewis H. Ziska. (2010). Predicting plant invasions in an era of global change. *Trends in Ecology & Evolution, 25*(5), 310–318. https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.12.003

Chauhan, B. S. (2020). Grand challenges in weed management. *Frontiers in Agronomy, 1*, 3.

Cleland, E. E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H. A., & Mark D. Schwartz. (2007). Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution, 22*(7), 357–365. https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.04.003

Délye, C. (2013). Unravelling the genetic bases of non-target-site-based resistance. *Pest Management Science, 69*(2), 176–187. https://doi.org/10.1002/ps.3310

Duke, S. O. (2005). Taking stock of herbicide-resistant crops ten years after introduction. *Pest Management Science, 61*(3), 211–218. https://doi.org/10.1002/ps.1021

Duke, S. O. (2012). Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? *Pest Management Science, 68*(4), 505–512. https://doi.org/10.1002/ps.2333

Food and Agriculture Organization (FAO). (2013). *Climate-smart agriculture sourcebook*. FAO.

Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes, 10*, 4–10. https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001

Heap, I. (2026). The international survey of herbicide resistant weeds. Retrieved from http://www.weedscience.org

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.

Juenger, T. E. (2013). Natural variation and genetic constraints on drought tolerance. *Current Opinion in Plant Biology, 16*(3), 274–281.

Korres, N. E., Norsworthy, J. K., Tehranchian, P., et al. (2016). Cultivars to face climate change effects on crops and weeds. *Weed Science, 64*(1), 1–22.

Kudsk, P., & Kristensen, J. L. (1992). Effect of environmental factors on herbicide performance. *Weed Research, 32*(6), 413–420.

Mohler, C. L. (2001). Enhancing the competitive ability of crops. *Agronomy Journal, 93*(1), 124–130.

Neve, P., Norsworthy, J. K., Smith, K. L., & Zelaya, I. A. (2009). Modelling evolution and management of glyphosate resistance. *Pest Management Science, 65*(4), 367–378.

Norsworthy, J. K., Ward, S. M., Shaw, D. R., et al. (2012). Reducing the risks of herbicide resistance. *Weed Science, 60*(SP1), 31–62. https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00155.1

Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science, 144*(1), 31–43.

Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts. *Nature, 421*, 37–42. https://doi.org/10.1038/nature01286

Patterson, D. T. (1995). Effects of environmental stress on weed/crop interactions. *Weed Science, 43*(3), 483–490.

Powles, S. B., & Yu, Q. (2010). Evolution in action: Plants resistant to herbicides. *Annual Review of Plant Biology, 61*, 317–347. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112119

Sharma, S. D., & Singh, M. (2001). Environmental factors affecting herbicide efficacy. *Weed Biology and Management, 1*(4), 202–212.

Smith, S. D., Huxman, T. E., Zitzer, S. F., et al. (2000). Elevated CO_2 increases productivity and invasive species success. *Global Change Biology, 6*(8), 859–870.

Swanton, C. J., & Weise, S. F. (1991). Integrated weed management: The rationale and approach. *Weed Science, 39*(4), 657–663.

Swanton, C. J., Mahoney, K. J., Chandler, K., & Gulden, R. H. (2010). Integrated weed management: Knowledge-based weed management systems. *Weed Science, 58*(4), 460–468.

Walther, G. R., Post, E., Convey, P., et al. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature, 416*, 389–395. https://doi.org/10.1038/416389a

Yu, Q., & Powles, S. B. (2014). Metabolism-based herbicide resistance. *Pest Management Science, 70*(9), 1305–1315.

Zhang, C., Walters, D., & Kovacs, J. M. (2018). Applications of low altitude remote sensing in agriculture. *Precision Agriculture, 19*(3), 377–394.

Ziska, L. H. (2003). Evaluation of the growth response of six invasive species to past, present, and future atmospheric carbon dioxide. *Weed Science, 51*(2), 167–175.

Ziska, L. H., & Dukes, J. S. (2011). Weed biology and climate change. *Weed Science, 59*(3), 365–372.

Ziska, L. H., & Teasdale, J. R. (2000). Sustained growth and increased tolerance to glyphosate observed in a C3 perennial weed. *Global Change Biology, 6*(7), 859–868.

Ziska, L. H., et al. (2019). Temperature-related changes in weed biology. *Agronomy Journal, 111*, 1–12.

Ziska, L. H., Teasdale, J. R., & Bunce, J. A. (2010). Future atmospheric carbon dioxide may increase tolerance to glyphosate. *Weed Science, 58*(4), 451–457

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

HASSAS TARIMDA ALANA ÖZGÜ YABANCI OT KONTROLÜ: TEKNOLOJİLER VE UYGULAMALAR

SITE-SPECIFIC WEED CONTROL IN PRECISION AGRICULTURE: TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS

Arş. Gör. Seren DOĞAR KAVAN

Iğdır University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Iğdır, Türkiye,

seren.kavan@igdir.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2757-594X

Doç. Dr. Ramazan GÜRBÜZ

Iğdır University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Iğdır, Türkiye,

r_grbz@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-3558-9823

Özet

Yabancı ot yönetimi; ürün verimini, kaynak kullanım etkinliğini ve çevresel sürdürülebilirliği önemli ölçüde etkileyen, tarımsal üretim sistemlerinin en kritik sorunlarından biri olmaya devam etmektedir. Herbisitlerin tüm alana homojen şekilde uygulanmasına dayanan geleneksel yabancı ot kontrol stratejileri; çoğu zaman gereğinden fazla kimyasal kullanımına, üretim maliyetlerinin artmasına ve herbisitlere dayanıklı yabancı ot popülasyonlarının oluşumunun hızlanmasına yol açmaktadır. Bu bağlamda, Alana Özgü Yabancı Ot Kontrolü (Site-Specific Weed Control—SSWC), tarla içerisindeki mekânsal değişkenliği dikkate alarak hedefe yönelik yabancı ot yönetimine olanak sağlayan, gelecek vadeden bir hassas tarım yaklaşımı olarak ortaya çıkmıştır. Bu derlemenin amacı; yabancı ot algılama sistemleri, karar verme mekanizmaları ve alana özgü uygulama yöntemleri dâhil olmak üzere SSWC teknolojilerindeki güncel gelişmeleri kapsamlı bir şekilde değerlendirmektir. Derlemede özellikle sensör tabanlı teknolojiler (RGB, multispektral ve hiperspektral görüntüleme), yabancı otların gerçek zamanlı olarak tanımlanmasına yönelik yapay zekâ ve derin öğrenme algoritmaları ile akıllı pülverizatörler ve robotik platformlar gibi otomatik uygulama sistemleri üzerinde durulmuştur.

Ayrıca, yeşil zemin üzerinde yeşil (*green-on-green*) ve kahverengi zemin üzerinde yeşil (*green-on-brown*) yaklaşımları dâhil olmak üzere farklı yabancı ot algılama stratejileri değerlendirilmiş ve bunların değişen tarla koşullarındaki etkinlikleri incelenmiştir. Bunun yanında, SSWC'nin herbisit kullanımını azaltma, çevresel etkileri en aza indirme ve herbisitlere dayanıklılık gelişimini yavaşlatma potansiyeli eleştirel bir bakış açısıyla tartışılmıştır.

Sağladığı avantajlara karşın; yüksek uygulama maliyetleri, algılama doğruluğundaki sınırlılıklar ve veri işleme kısıtları gibi çeşitli teknik ve ekonomik güçlükler, bu teknolojilerin geniş ölçekte benimsenmesini engellemeye devam etmektedir. Gelecekteki araştırmalar için gelişmiş makine öğrenmesi modellerinin, gerçek zamanlı karar destek sistemlerinin ve sürdürülebilir yabancı ot yönetimi uygulamalarının bütünleştirilmesine odaklanan araştırma yönelimleri ortaya konulmuştur. Genel olarak SSWC; daha etkin, çevreye duyarlı ve veri temelli yabancı ot kontrol stratejilerine doğru dönüştürücü bir değişimi temsil etmekte ve modern tarımsal üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğini ve dayanıklılığını artırma bakımından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Anahtar kelimeler: Alana özgü yabancı ot kontrolü, hassas tarım, yabancı ot algılama, yapay zekâ, herbisitlere dayanıklılık

Abstract

Weed management remains one of the most critical challenges in agricultural production systems, significantly affecting crop yield, resource efficiency, and environmental sustainability. Conventional weed control strategies, which rely on uniform herbicide applications, often result in excessive chemical use, increased production costs, and accelerated evolution of herbicide-resistant weed populations. In this context, Site-Specific Weed Control (SSWC) has emerged as a promising precision agriculture approach that enables targeted weed management based on spatial variability within fields. This review aims to provide a comprehensive synthesis of recent advances in SSWC technologies, including weed detection systems, decision-making frameworks, and site-specific application methods. Particular emphasis is placed on sensor-based technologies (RGB, multispectral, and hyperspectral imaging), artificial intelligence and deep learning algorithms for real-time weed identification, and automated actuation systems such as smart sprayers and robotic platforms. The review further evaluates different weed detection strategies, including green-on-green and green-on-brown approaches, and examines their effectiveness under varying field conditions. In addition, the potential of SSWC to reduce herbicide usage, minimize environmental impact, and mitigate herbicide resistance development is critically discussed. Despite its advantages, several technical and economic challenges, such as high implementation costs, detection accuracy limitations, and data processing constraints, continue to hinder large-scale adoption. Future research directions are highlighted, focusing on the integration of advanced machine learning models, real-time decision support systems, and sustainable weed management practices. Overall, SSWC represents a transformative shift toward more efficient, environmentally sound, and data-driven weed control strategies, offering significant potential to enhance the sustainability and resilience of modern agricultural systems.

Keywords: Site-specific weed control, Precision agriculture, Weed detection, Artificial intelligence, Herbicide resistance

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

1. GİRİŞ

Yabancı otlar, tarımsal üretim sistemlerinde önemli verim kayıplarına, üretim maliyetlerinin artmasına ve kaynak kullanım etkinliğinin azalmasına yol açan en önemli biyotik kısıtlardan biri olmaya devam etmektedir. Yabancı ot rekabetinin dünya genelinde önemli düzeyde verim düşüşlerine ve ekonomik kayıplara neden olduğu tahmin edilmekte; bu durum, etkili ve sürdürülebilir yabancı ot yönetimi stratejilerine duyulan gereksinimi ortaya koymaktadır (Bhandari and Etienne, 2025). Geleneksel olarak yabancı ot kontrolü, büyük ölçüde herbisitlerin tarlanın tamamına tekdüze biçimde uygulanmasına dayanmaktadır. Bu yaklaşım, uygulama bakımından kolay ve kısa vadede etkili olmakla birlikte çoğu zaman gereğinden fazla kimyasal kullanımına, çevre kirliliğine ve herbisitlere dayanıklı yabancı ot popülasyonlarının hızla gelişmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, çevresel etkileri azaltırken etkinliği artıran alternatif stratejilere duyulan gereksinim giderek artmaktadır.

Son yıllarda hassas tarım, tarla içindeki mekânsal ve zamansal değişkenliği esas alarak tarımsal girdilerin kullanımını optimize eden dönüştürücü bir yaklaşım olarak öne çıkmıştır. Bu çerçevede, Alana Özgü Yabancı Ot Kontrolü (Site-Specific Weed Control—SSWC) veya diğer adıyla Alana Özgü Yabancı Ot Yönetimi (Site-Specific Weed Management—SSWM), sürdürülebilir yabancı ot kontrolü açısından umut vadeden bir strateji olarak büyük ilgi görmüştür. SSWC, yabancı otları yalnızca bulundukları alanlarda tespit etmeyi, haritalamayı ve yönetmeyi amaçlamakta; böylece hedefe yönelik müdahalelere olanak tanırken gereksiz herbisit uygulamalarını en aza indirmektedir. Bilgi ve otomasyon teknolojilerindeki gelişmeler, yabancı ot kontrol uygulamalarını agroekosistemlerdeki yabancı ot popülasyonlarının heterojen dağılımına uyarlayabilen SSWC sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır (Gerhards et al., 2022).

SSWC'nin etkinliği büyük ölçüde yabancı otların doğru biçimde tespit edilmesine ve haritalanmasına bağlıdır. RGB, multispektral ve hiperspektral görüntüleme sistemleri ile insansız hava araçlarını (İHA) kapsayan sensör teknolojilerindeki son gelişmeler, yabancı ot popülasyonlarının yüksek mekânsal çözünürlükte izlenebilme kapasitesini önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle İHA tabanlı sistemler başta olmak üzere uzaktan algılama teknolojilerinin, zamanında ve ayrıntılı mekânsal bilgi sağlama yetenekleri sayesinde gelecekte hassas yabancı ot yönetiminde belirleyici bir rol üstleneceği öngörülmektedir (Huang et al., 2025). Bununla birlikte yabancı ot haritalama, yabancı ot bulaşıklığındaki mekânsal değişkenliğin belirlenmesini sağlaması ve herbisit kullanımını ve çevresel etkileri azaltan hedefe yönelik kontrol stratejilerini desteklemesi nedeniyle SSWC'nin temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Jahanbakht et al., 2026).

Algılama teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak yapay zekâ (YZ) ve derin öğrenme (DÖ), yabancı otların tespiti ve sınıflandırılmasında köklü bir dönüşüm yaratmıştır. Güncel bilgisayarlı görü yaklaşımları, kültür bitkileri ile yabancı otları yüksek doğrulukla birbirinden ayırabilmekte ve tarla koşullarında gerçek zamanlı karar vermeye olanak sağlamaktadır. Son derlemeler, değişen çevre koşullarında morfolojik olarak birbirine benzeyen kültür bitkileri ile yabancı ot türlerinin ayırt edilmesinde bazı güçlükler sürmekle birlikte, derin öğrenme tabanlı modellerin geleneksel görüntü işleme tekniklerine kıyasla tespit performansını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir (Sandoval-Pillajo et al., 2025). Bu teknolojik yenilikler; algılama, veri işleme ve uygulama mekanizmalarını bütünleştiren otomatik ve akıllı yabancı ot yönetim sistemlerinin geliştirilmesinin önünü açmıştır.

SSWC'nin uygulanabilmesi için tespitin yanı sıra kontrol önlemlerini hassas biçimde uygulayabilen etkili uygulama teknolojilerine de gereksinim vardır. Alana özgü herbisit uygulamalarına ve mekanik yabancı ot kontrolüne olanak sağlamak amacıyla akıllı

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

pülverizatörler, robotik platformlar ve değişken oranlı uygulama teknolojileri geliştirilmiştir. Tarla çalışmaları, bu teknolojilerin etkili yabancı ot kontrolünü sürdürürken herbisit kullanımını önemli ölçüde azaltabildiğini ve böylece daha sürdürülebilir tarım sistemlerine katkı sağladığını göstermiştir (Spaeth et al., 2024). Ayrıca robotik ve otonom sistemler, gerçek zamanlı ve iş gücünden tasarruf sağlayan yabancı ot yönetimi için yeni olanaklar sunarak SSWC sistemlerine giderek daha fazla entegre edilmektedir. Bununla birlikte maliyet, doğruluk ve sistem entegrasyonuna ilişkin sorunlar devam etmektedir (Upadhyay et al., 2024).

Bu gelişmelere rağmen SSWC'nin ticari ölçekte benimsenmesi hâlen sınırlıdır. Yüksek ilk yatırım maliyetleri, teknik karmaşıklık, tarla koşullarındaki değişkenlik ve erken gelişme dönemlerinde ya da sık bitki örtüsü altında tespit doğruluğının sınırlı olması başlıca kısıtlar arasındadır. Ayrıca tarım bilimi, bilgisayar bilimi, robotik ve veri analitiği gibi farklı disiplinlere ait bileşenlerin bütünleştirilmesi, tam işlevsel sistemlerin geliştirilmesini güçleştirmektedir (Ehrampoosh et al., 2025). SSWC'nin modern tarımdaki potansiyelinden tam olarak yararlanılabilmesi için bu sorunların giderilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle bu derlemenin amacı; tespit teknolojileri, karar verme sistemleri ve uygulama yöntemlerine odaklanarak Alana Özgü Yabancı Ot Kontrolü alanındaki güncel gelişmeleri kapsamlı ve güncel bir bakış açısıyla değerlendirmektir. Yapay zekâ, uzaktan algılama ve otomasyon teknolojilerinin bütünleştirilmesi ile bu teknolojilerin sürdürülebilir yabancı ot yönetimi ve herbisit dayanıklılığının azaltılmasına yönelik etkileri özellikle ele alınmıştır. Mevcut kısıtların ve gelecekteki araştırma yönelimlerinin belirlenmesi yoluyla daha etkili, çevreyle uyumlu ve veri temelli yabancı ot yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

2. ALANA ÖZGÜ YABANCI OT KONTROLÜ TEKNOLOJİLERİNİN GELİŞİMİ

Alana Özgü Yabancı Ot Kontrolü (SSWC) teknolojilerinin gelişimi; hassas tarım, algılama sistemleri ve hesaplama kapasitesindeki ilerlemelerle yakından ilişkili olmuştur. Başlangıçta yabancı ot yönetimi uygulamaları, tarla içindeki mekânsal değişkenlik dikkate alınmaksızın herbisitlerin tüm alana tekdüze uygulanmasına dayanmıştır. Ancak yabancı otların tarlada kümeler hâlinde dağıldığının ilk gözlemlerle ortaya konulması, bu yaklaşımların verimsizliğini göstermiş ve mekânsal olarak hedeflendirilmiş yabancı ot yönetimi stratejilerinin temelini oluşturmuştur. Bunun sonucunda Alana Özgü Yabancı Ot Yönetimi (SSWM) kavramı, girdi kullanımını optimize etme ve çevresel etkileri azaltma gereksiniminin etkisiyle 20. yüzyılın sonlarında ortaya çıkmaya başlamıştır.

SSWC teknolojilerinin ilk kuşağı temel olarak **yabancı ot haritalama ve kümeye yönelik ilaçlama** uygulamalarına odaklanmıştır. Bu sistemlerde yabancı otlarla bulaşık alanları belirlemek amacıyla arazide manuel gözlem veya basit sensör tabanlı tespit yöntemleri kullanılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), yabancı ot popülasyonlarının mekânsal analizini ve haritalanmasını mümkün kılarak herbisitlerin yalnızca önceden belirlenmiş bölgelere uygulanmasında kritik bir rol oynamıştır. Bu ilk yaklaşımlar herbisit girdilerini azaltma potansiyelini ortaya koymuş olsa da düşük mekânsal çözünürlük, zaman alıcı veri toplama süreçleri ve gerçek zamanlı karar verme yeteneğinin bulunmaması nedeniyle uygulamada sınırlı kalmıştır (Gerhards et al., 2022).

2000'li yılların başlarında sensör teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte **optik algılama sistemleri**, SSWC'nin temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Genellikle “kahverengi zemin üzerinde yeşil” (*green-on-brown*) tespit sistemleri olarak adlandırılan ve bitki örtüsünü çıplak

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

topraktan ayırabilen yer tabanlı sensörler, nadas alanlarında veya kültür bitkisinin çıkışından önce gerçek zamanlı noktasal ilaçlamaya olanak sağlamıştır. Bu sistemler herbisit kullanım etkinliğini önemli ölçüde artırmış ve bazı üretim sistemlerinde yaygın biçimde benimsenmiştir. Ancak bitki türlerini birbirinden ayırt edemedikleri için kültür bitkileri ile yabancı otların bir arada bulunduğu koşullardaki kullanımları sınırlı kalmıştır (Singh et al., 2025).

SSWC'nin gelişimindeki bir sonraki aşama, başta insansız hava araçları (İHA) ve uydu görüntüleri olmak üzere **uzaktan algılama teknolojilerinin** sisteme dâhil edilmesi olmuştur. Bu teknolojiler, geniş alanlardaki yabancı ot popülasyonlarının yüksek çözünürlükte izlenmesini mümkün kılmış; ayrıntılı yabancı ot haritalarının oluşturulmasını ve alana özgü yönetim kararlarının alınmasını kolaylaştırmıştır. Multispektral ve hiperspektral görüntüleme, yabancı otların spektral özelliklerine göre tespit edilme kapasitesini daha da geliştirerek değişen çevre koşullarında sınıflandırma doğruluğunu artırmıştır. Uzaktan algılamaya dayalı yaklaşımlar, yabancı ot bulaşıklığının zamansal ve mekânsal dinamiklerinin belirlenmesinde giderek önem kazanmış ve böylece daha hassas ve zamanında müdahaleleri desteklemiştir (Huang et al., 2025; Jahanbakht et al., 2026).

Son yıllarda SSWC teknolojilerinin gelişimine, **yapay zekâ (YZ) ve derin öğrenme (DÖ)** alanlarındaki hızlı ilerlemeler yön vermiştir. Güncel bilgisayarlı görü sistemleri, evrişimli sinir ağları (CNN) ve diğer gelişmiş algoritmalar yardımıyla yabancı otları tür düzeyinde tanımlayabilmektedir. Bu sistemler, kültür bitkileri ile yabancı otların aynı anda bulunduğu "yeşil üzerinde yeşil" (*green-on-green*) koşullar da dâhil olmak üzere karmaşık tarla ortamlarında yabancı otların gerçek zamanlı ve yüksek doğrulukla tespit edilmesini sağlamaktadır. Çalışmalar, aydınlatma koşullarındaki ve gelişme dönemlerindeki değişkenlik ile türler arasındaki morfolojik benzerliklerin yönetilmesinde bazı sorunlar sürmekle birlikte, derin öğrenme modellerinin tespit doğruluğu ve uyarlanabilirlik bakımından geleneksel görüntü işleme tekniklerinden önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur (Sandoval-Pillajo et al., 2025).

Aynı dönemde **otomatik uygulama teknolojilerinin** geliştirilmesi, SSWC'yi yalnızca tespit temelli bir kavram olmaktan çıkararak tamamen bütünleşik bir yönetim sistemine dönüştürmüştür. Gerçek zamanlı sensörler ve kontrol birimleriyle donatılmış akıllı pülverizatörler, herbisitleri tek bitki düzeyinde seçici olarak uygulayabilirken robotik platformlar mekanik veya kimyasal olmayan yabancı ot kontrolüne olanak sağlamaktadır. Lazerle ve elektrik enerjisiyle yabancı ot kontrolü gibi gelişmekte olan teknolojiler, alana özgü müdahale seçeneklerini daha da çeşitlendirmektedir. Bu sistemler yalnızca herbisit kullanımını azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda herbisit dayanıklılığı riskini en aza indirmeyi amaçlayan entegre yabancı ot yönetimi stratejilerine de katkı sağlamaktadır (Spaeth et al., 2024; Das et al., 2025).

Daha yakın dönemde **üç boyutlu algılama, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve bulut tabanlı veri işleme** teknolojilerinin bütünleştirilmesi, yeni nesil SSWC sistemlerine geçişi beraberinde getirmiştir. Üç boyutlu görüntüleme teknolojileri, bitki tespitini ve mekânsal konumlandırmayı iyileştirerek heterojen ortamlardaki yabancı otların daha hassas biçimde hedeflenmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda IoT destekli sistemler; sensörler, karar destek sistemleri ve makineler arasında gerçek zamanlı veri alışverişini kolaylaştırarak dinamik ve uyarlanabilir yabancı ot yönetimine olanak tanımaktadır. Bu gelişmeler, sürekli izleme ve müdahale yapabilen tamamen otonom ve akıllı tarım sistemlerinin önünü açmaktadır (Malik et al., 2026).

Bu teknolojik gelişmelere rağmen SSWC sistemlerinin yaygın biçimde benimsenmesini engelleyen bazı sorunlar devam etmektedir. Yüksek maliyetler, sistem karmaşıklığı ve farklı tarla koşullarında güvenilir performans gereksinimi önemli engeller olmayı sürdürmektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Bununla birlikte algılama, hesaplama ve otomasyon teknolojilerindeki kesintisiz gelişim, SSWC'nin gelecekte sürdürülebilir yabancı ot yönetiminde giderek daha merkezi bir rol üstleneceğini göstermektedir.

3. ALANA ÖZGÜ YABANCI OT KONTROLÜNDE (SSWC) KULLANILAN TEKNOLOJİLER

Alana Özgü Yabancı Ot Kontrolünün (SSWC) başarıyla uygulanması; algılama sistemleri, veri işleme ve karar verme yapıları ile hassas uygulama mekanizmaları dâhil olmak üzere birçok teknolojik bileşenin bütünleştirilmesine bağlıdır. Bu teknolojiler birlikte kullanıldığında, mekânsal açıdan heterojen tarım alanlarında yabancı otların tespit edilmesini, analizini ve hedefe yönelik biçimde yönetilmesini mümkün kılmaktadır. Hassas tarım, yapay zekâ ve otomasyon alanlarındaki son gelişmeler, SSWC sistemlerinin performansını ve uygulanabilirliğini önemli ölçüde artırmıştır.

3.1. Yabancı Ot Tespitinde Sensör Teknolojileri

Yabancı otların doğru tespiti SSWC sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Tarım alanlarından mekânsal ve spektral bilgi elde etmek amacıyla çeşitli sensör teknolojileri geliştirilmiştir. Başta RGB kameralar olmak üzere optik sensörler; ekonomik olmaları ve tarla ekipmanlarına kolayca entegre edilebilmeleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sensörler, bitki örtüsü ile toprağı birbirinden ayırmak veya yabancı ot türlerini morfolojik özelliklerine göre belirlemek amacıyla işlenebilen yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmektedir (Singh et al., 2025).

RGB görüntülemenin yanı sıra multispektral ve hiperspektral sensörler, bitkilerin yansıtma özellikleri arasındaki küçük farklılıkları belirleyebilme yetenekleri nedeniyle giderek daha fazla ilgi görmektedir. Birden fazla dalga boyundan bilgi elde eden bu sensörler, karmaşık tarla koşullarında kültür bitkileri ile yabancı otların daha doğru biçimde ayırt edilmesini sağlamaktadır. Özellikle hiperspektral görüntüleme, sınıflandırma doğruluğunu artırabilen ayrıntılı spektral imzalar sunmaktadır. Bununla birlikte yüksek maliyet ve verilerin karmaşık yapısı, bu teknolojinin yaygın biçimde benimsenmesini sınırlamaktadır (Huang et al., 2025).

Gelişmiş sensörlerle donatılmış insansız hava araçları (İHA), yabancı ot tespit sistemlerinin olanaklarını daha da genişletmiştir. İHA tabanlı platformlar, geniş alanlardan hızlı veri elde edilmesini ve yüksek çözünürlüklü yabancı ot haritalarının oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu sistemler, yabancı ot popülasyonlarındaki zamansal değişimlerin izlenmesi ve SSWC kapsamında stratejik kararların desteklenmesi açısından özellikle yararlıdır (Jahanbakht et al., 2026). LiDAR ve üç boyutlu algılama sistemleri gibi gelişmekte olan teknolojiler ise yapısal bilgilerin elde edilmesine olanak tanıyarak sık kültür bitkisi örtüsü altındaki yabancı otların tespitini ve mekânsal doğruluğu artırmaktadır (Malik et al., 2026).

3.2. Yapay Zekâ ve Veri İşleme

Sensör sistemlerinden elde edilen yüksek çözünürlüklü verilerin giderek artması, gelişmiş veri işleme tekniklerinin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Yapay zekâ (YZ), özellikle de derin öğrenme (DÖ), günümüz SSWC sistemlerinin temel unsurlarından biri hâline gelmiştir. Evrişimli sinir ağları (CNN) ve diğer derin öğrenme mimarileri; yabancı otların tanımlanmasına yönelik görüntü sınıflandırma, nesne tespiti ve anlamsal bölümleme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Son çalışmalar, derin öğrenme tabanlı yaklaşımların doğruluk ve sağlamlık bakımından geleneksel görüntü işleme tekniklerinden daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Bu modeller, büyük veri kümelerindeki karmaşık örüntüleri ve özellikleri öğrenerek değişken çevre koşullarında dahi kültür bitkileri ile yabancı otların güvenilir biçimde ayırt edilmesini

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

sağlamaktadır (Sandoval-Pillajo et al., 2025). Ayrıca gerçek zamanlı veri işleme kapasitesindeki gelişmeler, tarla işlemleri sırasında hareket hâlinde yabancı ot tespitine ve anında karar verilmesine olanak tanımıştır.

Bu gelişmelere rağmen bazı sorunlar devam etmektedir. Aydınlatma koşullarındaki ve bitki gelişme dönemlerindeki değişkenlik ile kültür bitkileri ve yabancı ot türleri arasındaki morfolojik benzerlikler, model performansını etkileyebilmektedir. Ayrıca büyük miktarda etiketlenmiş veriye ve yüksek hesaplama gücüne duyulan gereksinim, yapay zekâ tabanlı sistemlerin ölçeklenebilirliğini sınırlamaktadır (Ehrampoosh et al., 2025). Bu nedenle devam eden araştırmalar; hafif modellerin geliştirilmesine, modellerin farklı çevre koşullarına genellenebilme yeteneğinin artırılmasına ve tespit doğruluğunu yükseltmek amacıyla çok modlu veri kaynaklarının bütünleştirilmesine odaklanmaktadır.

3.3. Karar Destek Sistemleri ve Veri Entegrasyonu

SSWC'de karar verme süreci, mekânsal ve zamansal verilere dayanarak yabancı ot kontrol önlemlerinin ne zaman, nerede ve nasıl uygulanacağının belirlenmesini kapsamaktadır. Karar Destek Sistemleri (KDS); sensörlerden elde edilen bilgileri, geçmiş verileri ve tahmin modellerini bütünleştirerek bu süreçte önemli bir rol oynamaktadır. Bu sistemler, yönetim stratejilerini optimize etmek amacıyla yabancı ot eşik değerlerini, kültür bitkisinin gelişme dönemlerini ve çevre koşullarını dikkate alabilmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), SSWC kapsamında mekânsal verilerin analizi ve görselleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. CBS tabanlı sistemler, yabancı ot dağılım haritalarını tarla içi değişkenliğe ilişkin verilerle birleştirerek alana özgü yönetim bölgelerinin oluşturulmasına ve değişken oranlı uygulamaların gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojilerinin sisteme dâhil edilmesi; sensörler, makineler ve bulut tabanlı platformlar arasında gerçek zamanlı veri alışverişini mümkün kılarak dinamik ve uyarlanabilir yabancı ot yönetimini kolaylaştırmaktadır (Malik et al., 2026).

3.4. Alana Özgü Kontrolde Uygulama Teknolojileri

SSWC sistemlerinin son bileşeni, kontrol önlemlerinin hassas biçimde uygulanmasını kapsamaktadır. Sensörler ve kontrol birimleriyle donatılmış akıllı pülverizatörler, alana özgü herbisit uygulamalarında en yaygın kullanılan teknolojiler arasındadır. Bu sistemler yabancı otları gerçek zamanlı olarak tespit edebilmekte ve herbisitleri yalnızca hedeflenen alanlara veya tek tek bitkilere uygulayabilmektedir. Böylece etkili kontrol düzeyi korunurken kimyasal kullanımı önemli ölçüde azaltılmaktadır (Spaeth et al., 2024).

Kimyasal kontrolün yanı sıra mekanik ve kimyasal olmayan uygulama teknolojileri de giderek önem kazanmaktadır. Robotik yabancı ot kontrol sistemleri, sıra arası toprak işleme ve sıra üzerindeki yabancı otların uzaklaştırılması gibi işlemleri yüksek hassasiyetle gerçekleştirebilmektedir. Lazerle ve elektrik enerjisiyle yabancı ot kontrolünü içeren gelişmekte olan teknolojiler ise herbisit kullanmadan yabancı otları ortadan kaldıran alternatif çözümler sunarak sürdürülebilir yabancı ot yönetimine katkı sağlamaktadır (Das et al., 2025).

Robotik teknolojilerin yapay zekâ tabanlı tespit sistemleriyle bütünleştirilmesi, asgari insan müdahalesiyle çalışabilen otonom yabancı ot kontrol platformlarının geliştirilmesini sağlamıştır. Bu sistemler SSWC açısından önemli bir ilerlemeyi temsil etmekle birlikte maliyet, güvenilirlik ve tarla koşullarına uyarlanabilirlik konularındaki sorunların giderilmesi gerekmektedir (Ehrampoosh et al., 2025).

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

4. SİSTEM ENTEGRASYONU VE GELECEKTEKİ TEKNOLOJİK EĞİLİMLER

Modern SSWC sistemleri, algılama, veri işleme ve uygulama bileşenlerinin bütünleşik platformlarda bir araya getirilmesiyle giderek daha belirgin hâle gelmektedir. Yapay zekâ, robotik, uzaktan algılama ve IoT teknolojilerinin yakınsaması; tamamen otonom ve akıllı yabancı ot yönetim sistemlerinin geliştirilmesine yön vermektedir. Bu bütünleşik sistemler, tarla koşullarını sürekli izleyebilmekte, yabancı otları tespit edebilmekte ve kontrol önlemlerini gerçek zamanlı olarak uygulayabilmektedir. Böylece etkinlik ve sürdürülebilirlik en üst düzeye çıkarılmaktadır.

Gelecekteki gelişmelerin; sistemler arası birlikte çalışabilirliğin iyileştirilmesine, maliyetlerin azaltılmasına ve farklı tarla koşullarındaki dayanıklılık ve güvenilirliğin artırılmasına odaklanması beklenmektedir. Uç bilişim, bulut tabanlı analiz ve gerçek zamanlı iletişim teknolojilerindeki ilerlemeler SSWC sistemlerinin kapasitesini daha da güçlendirecektir. Bu teknolojiler gelişmeye devam ettikçe sürdürülebilir ve veri temelli tarım sistemlerine geçişte merkezi bir rol üstlenmeleri beklenmektedir.

5. SONUÇ

Alana Özgü Yabancı Ot Kontrolü (SSWC), geleneksel tekdüze herbisit uygulamalarından hassas ve veri temelli yabancı ot yönetimi stratejilerine geçişi sağlayan, modern tarımda dönüştürücü bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Gelişmiş algılama teknolojileri, yapay zekâ, uzaktan algılama ve otomatik uygulama sistemlerinin bütünleştirilmesi; yabancı otların yüksek mekânsal doğrulukla tespit edilmesi, haritalanması ve yönetilmesi kapasitesini önemli ölçüde artırmıştır. Bu teknolojik gelişmeler; herbisit kullanımını azaltma, kaynak kullanım etkinliğini iyileştirme ve çevresel etkileri en aza indirme bakımından büyük bir potansiyel ortaya koyarak tarım sistemlerinin sürdürülebilirliğine katkıda bulunmuştur.

Bu avantajlara rağmen SSWC'nin yaygın biçimde benimsenmesi bazı teknik, ekonomik ve işletimsel sorunlarla sınırlanmaktadır. Karmaşık tarla koşullarında tespit doğruluğunun yetersiz kalması, yüksek ilk yatırım maliyetleri ve güçlü bir sistem entegrasyonuna duyulan gereksinim, geniş ölçekli uygulamaları engellemeye devam etmektedir. Özellikle kültür bitkileri ile yabancı otların birlikte bulunduğu “yeşil üzerinde yeşil” koşullarda bunların birbirinden ayırt edilmesindeki güçlükler ve tarla ortamlarının değişkenliği, tespit algoritmaları ile sensör teknolojilerinin daha da geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

SSWC'nin geleceği; gerçek zamanlı algılama, akıllı karar verme ve hassas uygulama teknolojilerini bir araya getiren tamamen bütünleşik ve otonom sistemlerin geliştirilmesine bağlıdır. Derin öğrenme, sensör füzyonu, üç boyutlu görüntüleme ve uç bilişim alanlarındaki gelişmelerin sistem performansını ve ölçeklenebilirliği artırması beklenmektedir. Ayrıca SSWC'nin daha kapsamlı Entegre Yabancı Ot Yönetimi (Integrated Weed Management—IWM) stratejileriyle bütünleştirilmesi, herbisit dayanıklılığı ve çevresel sürdürülebilirlik gibi karmaşık sorunların çözümünde kritik önem taşıyacaktır.

Gelecekteki araştırmalarda; tespit modellerinin farklı üretim sistemlerindeki sağlamlığının ve genellenebilirliğinin artırılmasına, erişilebilirliği iyileştirmek amacıyla sistem maliyetlerinin azaltılmasına ve standartlaştırılmış veri kümeleri ile değerlendirme protokollerinin geliştirilmesine odaklanılmalıdır. Tarım bilimciler, mühendisler ve veri bilimciler arasındaki disiplinler arası iş birliği, teknolojik yeniliklerin uygulanabilir tarla çözümlerine dönüştürülmesi açısından temel öneme sahip olacaktır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Sonuç olarak SSWC, yeni nesil hassas tarımın temel bileşenlerinden biri olup yabancı ot yönetimi uygulamalarında köklü bir dönüşüm yaratma potansiyeline sahiptir. Hedefe yönelik, etkili ve sürdürülebilir kontrol stratejilerini mümkün kılan SSWC, tarımsal üretim sistemlerinin çevresel ayak izini en aza indirirken gıda güvencesinin sağlanmasında merkezi bir rol oynayabilir.

KAYNAKLAR

Bhandari, U., & Etienne, A. (2025). Precision Weed Detection Using UAVs and Deep Learning: Models, Paradigms, and Challenges. *Smart Agricultural Technology*, 101656.

Das, S., Upadhyay, A., & Sun, X. (2025). Technology-driven approaches to intelligent mechanical weed control: a systematic review for sustainable weed management. *Frontiers in Plant Science*, *16*, 1734507.

Ehrampoosh, A., Hettiarachchi, P., Koirala, A., Hassan, J., Islam, N., Ray, B., ... & Moore, S. (2025). Intelligent weed management using aerial image processing and precision herbicide spraying: An overview. *Crop Protection*, *194*, 107206.

Gerhards, R., Andújar Sanchez, D., Hamouz, P., Peteinatos, G. G., Christensen, S., & Fernandez-Quintanilla, C. (2022). Advances in site-specific weed management in agriculture—A review. *Weed Research*, *62*(2), 123-133.

Huang, Y., Sun, X., Rai, N., Yao, H., Reddy, K. N., & Jenkins, J. (2025). Remote sensing for precision weed management. *Pest Management Science*, *81*(8), 4190-4199.

Jahanbakht, M., Olsen, A., Marchant, R., Fillols, E., & Azghadi, M. R. (2026). Advancements in weed mapping: A systematic review. *European Journal of Agronomy*, *175*, 127992.

Malik, M. E., & Mahmud, M. S. (2026). 3D sensing and perception for precision weed management: a review of modalities, reconstruction pipelines, and context-aware detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, *240*, 111219.

Sandoval-Pillajo, L., García-Santillán, I., Pusdá-Chulde, M., & Giret, A. (2025). Weed detection based on deep learning from UAV imagery: A review. *Smart Agricultural Technology*, *12*, 101147.

Singh, P., Zhao, B., & Shi, Y. (2025). Computer Vision for Site-Specific Weed Management in Precision Agriculture: A Review. *Agriculture*, *15*(21), 2296.

Spaeth, M., Sökefeld, M., Schwaderer, P., Gauer, M. E., Sturm, D. J., Delatrée, C. C., & Gerhards, R. (2024). Smart sprayer a technology for site-specific herbicide application. *Crop Protection*, *177*, 106564.

Upadhyay, A., Zhang, Y., Koparan, C., Rai, N., Howatt, K., Bajwa, S., & Sun, X. (2024). Advances in ground robotic technologies for site-specific weed management in precision agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, *225*, 109363.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

SU STRESİNİN YABANCI OTLARIN BİYOLOJİSİ, BÜYÜMESİ, ÜREMESİ VE MÜCADELESİNE ETKİLERİ

[1] Arş. Gör. Seren DOĞAR KAVAN,
Iğdır University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection Iğdır, Türkiye,
seren.kavan@igdir.edu.tr-ORCID: 0000-0003-2757-594X
[2] Doç. Dr. Ramazan GÜRBÜZ,
Iğdır University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection Iğdır, Türkiye,
r_grbz@yahoo.com-ORCID: 0000-0003-3558-9823

Özet

Su stresi, yabancı otların çıkışını, büyümesini, rekabet gücünü, üremesini ve popülasyonlarının devamlılığını şekillendiren önemli bir çevresel etkendir. Etkileri her zaman baskılayıcı değildir. Azalan toprak nemi genellikle çimlenmeyi geciktirmekte veya azaltmakta; yaprak gelişimini, bitki boyunu, biyokütleyi ve tohum üretimini sınırlandırmaktadır. Bununla birlikte birçok yabancı ot; stoma düzenlenmesi, ozmotik uyum, biyokütle dağılımındaki değişiklikler, gelişmiş kök sistemleri ve fenolojik esneklik sayesinde yaşamını ve üreme kapasitesini sürdürebilmektedir. Tepkinin büyüklüğü; türe, popülasyona, fotosentetik yolağa, gelişme dönemine, stresin şiddeti ve süresine, sıcaklığa, toprak özelliklerine, kültür bitkisi rekabetine ve yeniden nemlenme zamanına bağlıdır. Horozibiği türleri, *Amaranthus tuberculatus*, *Echinochloa colona* ve *Rottboellia cochinchinensis* gibi C_4 yabancı otlar sıcak ve suyun sınırlı olduğu koşullarda rekabet güçlerini kısmen koruyabilirken *Abutilon theophrasti* ve *Chenopodium album* gibi C_3 türler büyüme, kaynak dağılımı ve üreme bakımından farklı tepkiler gösterebilmektedir. Geniş ve dar yapraklı yabancı otlara ilişkin bulgular, kuraklığın tek başına güvenilir bir mücadele yöntemi olmadığını göstermektedir. Baskılanan bitkiler yağış veya sulama sonrasında yeniden büyüyebilmekte, herbisit uygulamalarından kaçabilmekte ve daha az sayıda fakat canlı tohum üreterek tohum bankasını yenileyebilmektedir. Bu derleme, su stresinin yabancı ot biyolojisinin temel dönemleri üzerindeki etkilerini sentezlemekte ve entegre yabancı ot yönetimi açısından sonuçlarını değerlendirmektedir. Suyun sınırlı olduğu koşullarda yönetim; erken mücadeleye, tohum üretiminin önlenmesine, rekabetçi üretim sistemlerine, uygun herbisit zamanlamasına, kültürel ve mekanik yöntemlere ve yeniden nemlenme sonrasında tarla kontrollerinin tekrarlanmasına dayanmalıdır. Gelecekteki

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

çalışmalar, kuraklığı yüksek sıcaklık, artan karbondioksit, herbisit direnci ve kültür bitkisi rekabetiyle birlikte tarla koşullarında değerlendirmelidir.

Anahtar kelimeler: kuraklık, çimlenme, tohum üretimi, tohum bankası, kültür bitkisi-yabancı ot rekabeti, entegre yabancı ot yönetimi

EFFECTS OF WATER STRESS ON WEED BIOLOGY, GROWTH, REPRODUCTION, AND MANAGEMENT

Abstract

Water stress is an important environmental factor shaping weed emergence, growth, competition, reproduction, and population persistence. Its effects are not uniformly suppressive. Reduced soil moisture generally delays or decreases germination and restricts leaf development, plant height, biomass, and seed production. Nevertheless, many weeds maintain survival and reproductive capacity through stomatal regulation, osmotic adjustment, altered biomass allocation, extensive root systems, and phenological plasticity. The magnitude of response depends on species, population, photosynthetic pathway, developmental stage, stress intensity and duration, temperature, soil properties, crop competition, and the timing of rewetting. C_4 weeds such as amaranths, common waterhemp, junglerice, and itchgrass may partly retain their competitive ability under hot, water-limited conditions, whereas C_3 species such as velvetleaf and common lambsquarters can exhibit different responses in growth, resource allocation, and reproduction. Evidence from broadleaf and grass weeds demonstrates that drought alone is not a reliable weed-control method. Suppressed plants may resume growth after rainfall or irrigation, escape herbicide treatment, and replenish the seedbank by producing fewer but viable seeds. This review synthesizes the effects of water stress on major stages of weed biology and evaluates their implications for integrated weed management. Management under water-limited conditions should emphasize early control, prevention of seed production, competitive cropping systems, appropriate herbicide timing, cultural and mechanical tactics, and repeated field scouting after rewetting. Future research should evaluate drought together with high temperature, elevated carbon dioxide, herbicide resistance, and crop competition under field conditions.

Keywords: drought, germination, seed production, seedbank, crop-weed competition, integrated weed management

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

1. Giriş

Suyun varlığı, bitkilerin yerleşmesini ve verimliliğini belirleyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Tarım sistemlerinde, azalan yağış miktarı, düzensiz yağışlar, yetersiz sulama ve yeraltı sularının tükenmesi, kültür bitkileri ve yabancı otları su kıtlığı dönemlerine giderek daha fazla maruz bırakmaktadır. Kuraklık, hücre genişlemesini, besin maddelerinin taşınmasını, stoma davranışını, fotosentezi, biyokütle birikimini, çiçeklenmeyi ve tohum gelişimini etkiler (Flexas et al., 2004; Farooq et al., 2009). Bu etkiler genellikle öncelikle kültür bitkisi verimi bağlamında ele alınsa da, yabancı otların tepkileri de kültür bitkisiyle rekabeti, mücadele yöntemlerinin etkinliğini, tohum bankasının yenilenmesini ve gelecekteki istila baskısını belirlediği için aynı derecede önemlidir.

Kuraklığın yabancı otları doğal olarak kontrol ettiği yönündeki yaygın varsayım yalnızca kısmen doğrudur. Su kıtlığı, yabancı ot yoğunluğunu ve büyümesini azaltabilir. Ancak aynı zamanda sıcak ve kuru ortamlara uyum sağlamış türlerin göreceli rekabet avantajını da artırabilir. Yabancı otlar, yüksek genetik çeşitlilik, esnek fenoloji ve kök ile sürgün dağılımında güçlü bir plastisiteye sahiptir. Bu özellikler, birçok türün su kaybını azaltmasına, daha geniş bir toprak hacmini keşfetmesine, üreme sürecini hızla tamamlamasına veya yağış sonrasında büyümeye yeniden başlamasına olanak tanır. Dolayısıyla ekolojik sonuç, su stresinin yabancı otlardan daha fazla kültür bitkisini etkileyip etkilemediğine ve hayatta kalan yabancı otların canlı tohum üretme yeteneğini koruyup korumadığına bağlıdır. Küresel bir meta-analiz, su stresinin genel olarak yabancı otların çimlenmesini, büyümesini ve tohum üretimini azalttığını, ancak bu azalmanın derecesinin türler ve deney koşulları arasında büyük farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur (Singh et al., 2022).

Bu derlemede, su stresinin yabancı otların çimlenmesi, büyümesi, fizyolojik özellikleri, rekabet yeteneği, üremesi ve herbisitlere verdiği tepkiler üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar değerlendirilmiştir. Farklı yabancı ot türleri, stres düzeyleri ve gelişme dönemleri arasında bildirilen ortak ve farklı tepkiler bütüncül biçimde yorumlanmıştır.

2. Su Stresinin Yabancı Otların Çimlenmesi ve Çıkışına Etkileri

Çimlenme, tohumların metabolizmayı aktive etmek, hücresel yapıları onarmak, rezervleri harekete geçirmek ve kök büyümesini başlatmak için yeterli suyu emmesiyle başlamaktadır. Toprak su potansiyelindeki düşüş, su emilimini yavaşlatır ve çimlenmeyi geciktirebilir, azaltabilir veya engelleyebilir. Bu eşik değer; türe, popülasyona, tohum

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

kalitesine, sıcaklığa ve dormansi durumuna göre değişmektedir. Bu nedenle su stresi, sadece toplam çıkış sayısını değil, aynı zamanda çıkışın zamanlamasını ve süresini de değiştirebilmektedir. Bu da kültür bitkisi ile rekabeti ve çıkış sonrası mücadelenin başarısını doğrudan etkilemektedir. Sıcaklık, çimlenme için gerekli su miktarını ve çıkış zamanını etkiler. Horozibiği türleri arasında dahi sıcaklık tepkileri farklılık göstermektedir (Guo & Al-Khatib, 2003). Benzer biçimde farklı geniş ve dar yapraklı yabancı otların çimlenme eşikleri, popülasyon kökenine ve çevre koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Singh et al., 2022). Bu nedenle sıcak ortama uyum sağlamış türler, toprak sıcaklığı elverişli olduğunda küçük bir yağışın ardından hızla çıkabilir; toprak kısa süre sonra kurusa bile bu kısa nem penceresinden yararlanabilir.

Singh et al. (2022) tarafından yapılan meta-analiz, su stresi arttıkça çimlenmenin genel olarak bastırıldığını doğrulamıştır. Ancak, popülasyonun kalıcılığı tek bir çimlenme dalgasıyla belirlenmez. Dormant tohumlar toprakta kalır ve daha sonraki yağış veya sulama sonrasında çimlenebilir. Dolayısıyla kuraklık, çimlenmeyi ortadan kaldırmak yerine zaman içinde yeniden dağıtır. Tekrarlanan gözlemler, özellikle toprağın yeniden ıslanmasından sonra önemlidir. Çünkü geciken gruplar, ilk mücadele işleminin zamanlamasından kaçabilir. Tohum boyutu ve ana bitkinin yetiştiği ortam da yerleşmeyi etkiler. Su stresi altında gelişen tohumlar, kütle, dormansi, rezerv bileşimi ve stres toleransı bakımından farklılık gösterebilir. Bu değişiklikler, ana bitkinin maruz kaldığı çevresel koşullar altında ani çimlenmeyi azaltabilir, kalıcılığı artırabilir veya performansı iyileştirebilir. Dolayısıyla, bir mevsimde gözlemlenen çimlenme şekli, bir önceki mevsimde tohum gelişimi sırasındaki su koşullarını kısmen yansıtabilir.

3. Vejetatif Büyüme, Morfoloji ve Biyokütle

Hücre genişlemesi, bitkinin su durumundaki düşüşe karşı oldukça duyarlıdır. Sonuç olarak, kuraklığın erken belirtileri genellikle yaprak alanının azalması, internodların kısalması, bitki boyunun azalması ve kanopi gelişiminin yavaşlamasını içerir. Stresin uzamasıyla birlikte, stoma iletkenliği ve fotosentezin kısıtlanması kuru madde birikimini azaltır (Farooq et al., 2009). Bu etkiler, özellikle iyi gelişmiş bir kültür bitkisi kanopisi ışığı yakalayıp daha derin toprak suyuna erişebildiğinde, yabancı ot rekabetini zayıflatabilir. Su stresinin büyümeyi baskılama derecesi yabancı ot türleri ve popülasyonları arasında önemli ölçüde farklılık göstermektedir. *Amaranthus palmeri* ve su keneviri (*Amaranthus tuberculatus, syn. A. rudis*) türlerinde büyüme ve biyokütle birikiminin azaldığı bildirilmiştir (Sarangi et al., 2016; Chahal et al., 2018). Benzer şekilde *R. cochinchinensis*, *E. colona*, *Amaranthus viridis* ve kırmızı köklü

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

horozibiğinde su kısıtlamasının bitki boyu, yaprak gelişimi ve biyokütleyi sınırlandırdığı belirlenmiştir (Chauhan, 2013; Mahajan et al., 2019; Khan et al., 2021). Bununla birlikte, baskılanmanın şiddeti türlere ve popülasyonlara göre değişmektedir.

Kadife yaprak, su mevcudiyetine bağlı olarak büyüme ve terleme verimliliğinde değişiklik göstermektedir (Vaughn et al., 2016). Bununla birlikte, tohum üretiminin su stresi düzeylerine verdiği tepkinin her zaman doğrusal olmadığı bildirilmiştir (Mausbach et al., 2022). Bu durum, biyokütlenin tek başına yönetim riskini değerlendirmek için yeterli olmadığını göstermektedir. Erken dönemde su stresine maruz kalan yabancı otlar, yeniden sulama veya yağış sonrasında telafi edici büyüme gösterebilir. Turgorun yeniden kazanılması, stomaların açılması ve büyümenin hızlanması, kuraklık sırasında baskılanmış bitkilerin yeniden rekabetçi hâle gelmesine neden olabilir. Bu nedenle stresin en şiddetli olduğu dönemde yapılan tek bir değerlendirme, uzun vadeli baskılanmayı olduğundan fazla gösterebilir (Farooq et al., 2009).

4. Kuraklığa Toleransın Fizyolojik Mekanizmaları

4.1. Stoma Düzenlenmesi, Fotosentez ve Yaprak Sıcaklığı

Stomaların kapanması, bitkilerin su kıtlığına verdiği en erken tepkilerden biridir. Terlemeyi azaltır ancak aynı zamanda yapraklara karbondioksit girişini de sınırlar. Uzun süreli kapanma fotosentezi ve büyümeyi düşürürken, eksik kapanma dehidrasyon riskini artırır. Kuraklığa dayanıklı yabancı otlar, hassas stoma kontrolü, ozmotik uyum ve fotosentetik metabolizmanın aklimasyonu yoluyla bu maliyetleri dengeler (Flexas et al., 2004). Terleme yoluyla soğumanın azalması, yaprak sıcaklığını artırabilir ve bu da kuraklık ile ısı stresini birbirine bağlayabilir. Fotosentetik yolak, su kullanımını etkileyen özelliklerden biridir. C_4 türleri sıcak ve yüksek ışıklı koşullarda, kaybedilen birim su başına genellikle C_3 türlerinden daha yüksek karbon kazanımı sağlayabilir; ancak türün yaşam döngüsü, kök mimarisi ve fenolojik esnekliği de sonucu belirler. *A. palmeri* toprağın kurumasına bağlı terleme düzenlenmesi bildirilirken (Cominelli & Patrignani, 2022), *E. colona* ve *R. cochinchinensis* gibi C_4 buğdaygil yabancı otlarında da düşük nem koşullarında büyüme ve tohum üretiminin tamamen sona ermediği gösterilmiştir (Chauhan, 2013; Mahajan et al., 2019). Dolayısıyla C_4 yolak tek başına kuraklık toleransının eş anlamlısı değildir; fakat sıcak ve kurak çevrelerde bazı türlerin kalıcılığına katkı sağlayabilir. Fizyolojik adaptasyon da zamanla değişir. Kısa vadeli ölçümler hızlı stoma kapanışını ortaya çıkarabilirken, daha sonraki ölçümler ozmotik uyumun ardından kısmi bir yeniden açılma gösterebilir. Bu nedenle, tek bir gaz değişimi ölçümüne dayanan sonuçlar yanıltıcı olabilir. Kaçınma, tolerans ve toparlanma durumlarını ayırt

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

edebilmek için stoma iletkenliği, fotosentez, yaprak sıcaklığı, bitki su potansiyeli ve toprak su içeriğine ilişkin zaman serisi ölçümleri gereklidir.

4.2. Ozmotik Uyum ve Oksidatif Koruma

Su eksikliği hücre su potansiyelini düşürerek zarları, enzimleri ve elektron taşınımını bozabilir. Bitkiler, turgoru korumak ve hücresel yapıları korumak için çözünür şekerler, amino asitler ve diğer ozmolitler de dahil olmak üzere uyumlu çözünmüş maddeleri biriktirebilir. Antioksidan sistemler, kısıtlı fotosentez altında üretilen reaktif oksijen türlerinin neden olduğu hasarı sınırlar. Bu mekanizmaların göreceli katkısı türler ve popülasyonlar arasında değişmektedir. Bir yabancı otun sadece hayatta kalıp kalmayacağını veya aktif büyümeye devam edip etmeyeceğini belirleyebilir (Flexas et al., 2004; Farooq et al., 2009). Fizyolojik toleransın yönetimsel etkileri vardır. Kuraklık stresi altındaki bitkilerin yaprakları genellikle daha küçük, kütikülleri daha kalın, yaprak açıları değişmiş ve taşıma süreçleri daha yavaştır. Bu değişiklikler, yaprak herbisitlerinin tutunmasını, nüfuz etmesini ve taşınmasını azaltabilir. Düşük büyüme oranları, aktif metabolizmaya bağlı herbisitlerin etkinliğini de azaltabilir (Abbas & Farooq, 2026).

5. Kök Sistemi Plastisitesi ve Topraktan Su Alımı

Kökler, suyun çekilebileceği toprağın hacmini ve derinliğini belirler. Hafif veya orta derecede stres altında, bazı bitkiler biyokütlenin daha büyük bir kısmını yeraltına ayırır, özgül kök uzunluğunu artırır veya daha derine kök salmayı teşvik eder. Bu değişiklikler, toplam kök kütlesini mutlaka artırmadan toprağın keşfedilmesini iyileştirir. Kuraklık performansı ile ilişkili kök özellikleri arasında derinlik, açı, dallanma, çap, hidrolik iletkenlik ve kuruyan toprakta büyümeyi sürdürme yeteneği sayılabilir (Comas et al., 2013; Kalra et al., 2024). Kuraklık ile kök biyokütlesi arasındaki ilişki her zaman doğrusal değildir. Orta derecede stres toplam karbon kazanımını ve kök büyümesini azaltabilirken, bazı türler sürgün büyümesini kök büyümesinden daha fazla sınırlayarak kök: sürgün oranını yükseltir. *A. viridis* ve kırmızı köklü horozibiğinde artan su stresiyle sürgün: kök oranının azalması bu dağılım değişimine örnektir (Khan et al., 2021). *E. colona* biyotipleri arasında kök biyokütlesi ve tohum üretiminin farklılaşması ise popülasyon içi çeşitliliğin önemini göstermektedir (Mahajan et al., 2019). Saksı deneyleri köklerin yatay ve düşey yayılımını sınırladığından, bu sonuçların tarla koşullarında kök derinliği ve su alma dinamikleriyle doğrulanması gerekmektedir. Kök plastisitesi, kültür bitkisi ile yabancı ot arasındaki su rekabetini doğrudan etkilemektedir. Erken ve hızlı kök gelişimi gösteren yabancı otlar, kültür bitkisi yeterli rekabet gücüne ulaşmadan önce mevcut su

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

kaynaklarından yararlanabilir. Rekabetin sonucu; türlere, ekim sıklığına, toprak dokusuna, kök derinliğine ve sulama sistemine bağlı olarak değişmektedir (Comas et al., 2013; Berger et al., 2015; Smith & Burns, 2022).

6. Kısıtlı Su Koşullarında Kültür Bitkisi ile Yabancı Ot Arasındaki Rekabet

Su için rekabet, ışık ve besin maddeleri için rekabetten ayrı düşünülemez. Su kaynaklarının azalması, kültür bitkisinin yaprak alanını ve kanopi kapanmasını sınırlayarak yabancı otların ışığa daha fazla erişmesine olanak tanır. Aynı zamanda, kuru toprakta besin maddelerinin yayılması ve alımı azalır. Yağmur yağışından sonra kök aktivitesini sürdüren veya hızla büyüyen bir yabancı ot, çeşitli kaynaklara aynı anda erişebilir. Dolayısıyla, nihai verim kaybı hem doğrudan su alımını hem de kanopi yapısı ve besin maddeleri arasındaki dolaylı değişiklikleri yansıtmaktadır. Kültür bitkisi–yabancı ot rekabetinin sonucu, yalnızca yabancı otun kuraklığa dayanımına değil, iki türün suyu hangi dönemde ve hangi toprak katmanından kullandığına bağlıdır. Pamuk–*A. palmeri* sisteminde yabancı otun su tüketimi kültür bitkisi gelişimini sınırlandırabilirken (Berger et al., 2015), mısır–*A. theophrasti* karşılaştırmaları terleme verimliliğinin türler arasında değiştiğini göstermiştir (Vaughn et al., 2016). Kuraklığa dayanıklı mısır ile *C. album* birlikte yetiştirildiği deneylerde ise su stresi ve yabancı ot yoğunluğu birlikte büyümeyi azaltmış, ancak etkilerin büyüklüğü yoğunluğa ve rekabet koşullarına göre değişmiştir (Smith & Burns, 2022). Bu bulgular, tek bir türden elde edilen sonucun tüm kültür bitkisi–yabancı ot birlikteliklerine genellenemeyeceğini ortaya koymaktadır. Yabancı otlarla rekabetin zamanlaması hayati önem taşımaktadır. Erken çıkan yabancı otlar daha geniş kök sistemleri oluşturur ve kültür bitkisi rekabet gücüne kavuşmadan önce topraktaki suyu tüketebilir. Geç çıkan yabancı otlar verim kaybına daha az neden olabilir, ancak yine de tohum üretir. Kuraklık, kültür bitkisinin gelişimini yavaşlatarak, yabancı otların çıkmasını geciktirerek veya yağış sonrası çıkışı yoğunlaştırarak her iki ilişkiyi de değiştirebilir. Bu nedenle, ortalama nem koşullarında belirlenen kritik yabancı ot bulunmayan dönemler, olağandışı derecede kurak mevsimlerde yeniden ayarlanmayı gerektirebilmektedir.

7. Çiçeklenme, Tohum Üretimi ve Üreme Esnekliği

Üreme, genellikle hayatta kalmaya kıyasla kuraklığa karşı daha duyarlıdır. Su eksikliği, dal sayısını, çiçek salkımının boyutunu, çiçek üretimini, tozlaşmayı, tohum oluşumunu, tohum dolumunu ve nihai tohum kütlesini azaltabilmektedir. Höfer et al. (2023), su eksikliği altında tohum oluşumundaki azalmanın öncelikle çiçek sayısındaki azalmadan kaynaklanabileceğini göstermiştir. Tek yıllık yabancı otlar, yaşam döngülerini tamamlamadan önce üremeye kaynak

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ayırma eğilimindedir. Farklı geniş ve dar yapraklı yabancı otlar önemli bir üreme esnekliği göstermektedir. Artan su stresi *A. palmeri*, *A. rudis* ve *A. theophrasti* tohum üretimini azaltmış, ancak üremeyi tamamen durdurmamıştır (Sarangi et al., 2016; Chahal et al., 2018; Mausbach et al., 2022). *E. colona*, *A. viridis* ve *A. retroflexus* ise en düşük nem düzeylerinde bile yüzlerce tohum üretebilmiştir (Mahajan et al., 2019; Khan et al., 2021). Bu durum, biyokütledeki azalmanın tohum bankası riskindeki azalmayla doğrudan eşleştirilemeyeceğini göstermektedir. Su stresinin uygulandığı gelişme dönemi de üreme tepkilerini önemli ölçüde etkilemektedir. Sodhi et al. (2026), üreme döneminde su stresine maruz kalan *A. palmeri* bitkilerinin, vejetatif dönemde strese maruz kalan bitkilere göre yaklaşık %29 daha fazla tohum ürettiğini bildirmiştir. Geç dönemde strese maruz kalan bitkiler, stres başlamadan önce kaynak biriktirmişken, erken dönemde maruz kalan bitkilerde ise kanopi ve kök gelişimi kısıtlanmıştır. Bu sonuç, hem kültür bitkisi rekabetini hem de tohum bankasına katkıyı azaltmanın en güvenilir yolunun erken dönemde mücadele olduğunu desteklemektedir. İki evcikli yabancı otlarda başarılı üreme için erkek ve dişi bitkilerin çiçeklenme dönemlerinin örtüşmesi gerekmektedir. Mesgaran et al. (2021), su stresinin *A. palmeri* cinsiyete özgü özellikleri ve üreme senkronizasyonunu değiştirdiğini göstermiştir. Kuraklığın neden olduğu çiçeklenme zamanındaki uyumsuzluk tozlaşmayı azaltabilse de genetik çeşitlilik ve uzamış çiçeklenme dönemleri nedeniyle bu etki güvenilir bir kontrol mekanizması değildir.

8. Tohum Kalitesi, Ana Bitki Etkileri ve Tohum Bankası Dinamikleri

Kuraklık koşullarında üretilen tohum sayısı, gelecekteki popülasyon riskini tam olarak yansıtmaz. Tohum canlılığı, dormansi, çimlenme oranı, tohum kütlesi ve strese dayanıklılık, bu tohumların sonraki mevsimlerde yerleşip yerleşmeyeceğini belirler. Tohum dolumu sırasında su kısıtlaması, asimilat taşınımını ve rezerv birikimini azaltarak çimlenme oranını düşürebilir. Bununla birlikte, şiddetli stres tohum sayısını azaltırken, kalan tohumların canlı kalabilmeleri için yeterli kaynağı almalarını da sağlayabilir. Ana bitki etkileri, yavruları stresli ortamlara hazırlayabilir. Matzrafi et al. (2021), *A. palmeri* anne bitkilerinin kuraklığa maruz kalmasının, yavru tohumlarda kuraklık toleransını artırdığını bildirmiştir. Bu tür nesiller arası plastisite, kurak bir mevsimin sadece mevcut üreme yeteneğini değil, aynı zamanda bir sonraki neslin davranışını da etkileyebileceği anlamına gelir. Stres altında üretilen tohumlar, tekrarlayan kuraklık koşullarında farklı şekilde çimlenebilir, daha uzun süre hayatta kalabilir veya daha başarılı bir şekilde yerleşebilir. Tohum üretimindeki oransal olarak büyük bir azalma bile yönetim açısından yeterli olmayabilir. Çünkü yüksek üreme kapasitesine sahip tek bir yabancı ot, şiddetli stres altında dahi çok sayıda tohum oluşturabilmektedir. Bu nedenle temel hedef,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

çevresel baskıya güvenmek yerine tohum bankasının yenilenmesini önlemek olmalıdır. Kaçan bitkiler canlı tohum oluşturmadan önce kontrol edilmelidir. Farklı yabancı ot türlerinde su stresine bağlı olarak ortaya çıkan başlıca büyüme, üreme ve herbisit tepkileri ile bunların yabancı ot yönetimi açısından sonuçları Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Bazı önemli yabancı ot türlerinin su stresine karşı gösterdiği tepkiler.

Yabancı ot türü/ Araştırma kapsamı	**Su stresine karşı belirlenen tepki**	**Yabancı ot yönetimi açısından değerlendirme**
Amaranthus palmeri	Su stresi büyüme ve tohum üretimini azaltmaktadır. Bununla birlikte bitkiler şiddetli su stresi altında dahi canlılığını koruyabilmekte ve tohum üretebilmektedir.	Erken dönemde mücadele edilmesi ve tohum oluşumunun engellenmesi gereklidir.
Amaranthus tuberculatus	Su stresinin şiddeti arttıkça bitki gelişimi ve tohum üretimi azalmaktadır. Ancak hayatta kalan bitkiler tohum oluşturabilmektedir.	Biyokütledeki azalmanın tohum bankası riskini tamamen ortadan kaldırdığı düşünülmemelidir.
Abutilon theophrasti	Bitki gelişimi genellikle azalmakla birlikte, tohum üretiminin su stresi düzeylerine verdiği tepki her zaman doğrusal değildir. Bazı koşullarda orta düzey su stresi altında önemli miktarda tohum üretilebilmektedir.	Mücadele başarısı yalnızca bitki biyokütlesine göre değil, tohum üretimi de dikkate alınarak değerlendirilmelidir.
Rottboellia cochinchinensis	Su noksanlığı bitkinin vejetatif gelişimini ve biyokütle üretimini sınırlandırmaktadır.	Yağış veya sulamadan sonra yeniden büyüme gösterebilecek bitkiler tohum oluşturmadan önce kontrol edilmelidir.
Çok sayıda yabancı ot türünü kapsayan meta-analiz	Su stresi genel olarak çimlenme, bitki gelişimi ve tohum üretimini azaltmaktadır. Bununla birlikte tepkinin büyüklüğü türlere, stres düzeyine ve çevre koşullarına göre önemli ölçüde değişmektedir.	Türlere özgü mücadele eşikleri kullanılmalı ve kimyasal, kültürel ve mekanik yöntemler birlikte uygulanmalıdır.
Echinochloa colona	Bitki boyu, biyokütle ve tohum üretimi düşük nemde azalmış; ancak %25 su tutma kapasitesinde dahi en az 365 tohum bitki^{-1} oluşmuştur.	Düşük biyokütle, popülasyon yenilenmesinin sona erdiği anlamına gelmez; erken mücadele gereklidir.
Amaranthus viridis ve *A. retroflexus*	Artan su stresi büyüme ve tohum üretimini azaltmış, sürgün:kök oranını düşürmüş; iki tür de en şiddetli uygulamada yüzlerce tohum üretmiştir.	Kök–sürgün dağılımındaki değişim ve kalan tohum üretimi birlikte değerlendirilmelidir.
Chenopodium album	Su stresi yaprak oluşumu ve boy gelişimini yavaşlatmış; kültür bitkisi rekabetinin etkisi yabancı ot yoğunluğuna göre değişmiştir.	Sulama düzeyi, yabancı ot yoğunluğu ve kültür bitkisi rekabeti birlikte ele alınmalıdır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Yabancı ot türü/ Araştırma kapsamı	Su stresine karşı belirlenen tepki	Yabancı ot yönetimi açısından değerlendirme
Parthenium hysterophorus ve *Setaria faberi*	Şiddetli kuraklık yaprak su içeriğini ve stoma iletkenliğini azaltarak glifosat etkinliğini düşürmüştür.	Çıkış sonrası uygulamalar aktif büyüme ve yeterli bitki su durumunda planlanmalıdır.

Kaynak: Chauhan (2013), Sarangi et al. (2016), Chahal et al. (2018), Mahajan et al. (2019), Khan et al. (2021), Mausbach et al. (2022), Singh et al. (2022), Smith ve Burns (2022) ve Abbas ve Farooq (2026) temel alınarak hazırlanmıştır.

9. İklim Değişikliği ve Herbisit Direnci Arasındaki Etkileşimler

Su stresi; yüksek sıcaklık, artan karbondioksit, ozon, tuzluluk ve besin kısıtlamasıyla birlikte giderek daha sık görülmektedir. Bu faktörler birbirini güçlendirebilir, zayıflatabilir veya ardışık etkiler oluşturabilir. *A. palmeri* ozon ile su stresinin birlikte incelenmesi (Paudel et al., 2016) ve farklı türleri kapsayan küresel meta-analiz sonuçları (Singh et al., 2022), tek etmenli deneylerin tarla gerçekliğini ancak kısmen temsil ettiğini göstermektedir. Gelecekteki yabancı ot topluluklarının bileşimi, türlerin yalnızca kuraklığa değil, eş zamanlı çevresel streslere verdikleri birleşik tepkilerle şekillenecektir. Yüksek sıcaklık, sıcağa uyum sağlamış yabancı otların gelişimini hızlandırabilir ve buharlaşma ihtiyacını artırabilir. Yüksek karbondioksit seviyesi, bazı C_4 türlerinde bile stoma iletkenliğini azaltarak su kullanım verimliliğini artırabilir. de Souza Rodrigues et al. (2023), yüksek karbondioksit seviyesinin *Amaranthus palmeri* boyunu, yaprak alanını, gövde kuru maddesini ve bitki hacmini artırdığını, ancak biyotiplerin büyüme açısından farklılık gösterdiğini bulmuştur. Bu sonuçlar, iklim tepkilerinin genetik arka plana bağlı olduğunu ve artan karbondioksitin kuraklığın etkilerini kısmen değiştirebileceğini göstermektedir. Herbisit direnci ile kuraklık toleransının zorunlu olarak genetik biçimde bağlantılı olduğu varsayılmamalıdır. Bununla birlikte, Chandi et al. (2013), glifosata ve asetolaktat sentaz (ALS) inhibitörlerine dirençli *A. palmeri* aksesyonlarında kuraklığın bitki boyu ve kuru ağırlık üzerindeki etkisinin duyarlı aksesyonlara göre daha düşük olduğunu bildirmiştir. Bu sonuç, herbisit direnci ile kuraklığa dayanma yeteneği arasında olası bir ilişkiye işaret etmekle birlikte, popülasyonlar arasındaki farklılıklar geçmiş seçilim baskılarından, direnç mekanizmalarından veya diğer genetik ve ekolojik özelliklerden de kaynaklanabilir. Ayrıca su stresi, genetik direnç bulunmasa bile herbisit uygulamalarının başarısını düşürebilir. Farklı morfolojik özelliklere sahip *Parthenium hysterophorus* ve *Setaria faberi* türlerinde şiddetli kuraklığın yaprak su içeriğini ve stoma iletkenliğini azalttığı ve buna

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

bağlı olarak glifosatın bitki ölümü ve biyokütle üzerindeki etkisini zayıflattığı bildirilmiştir (Abbas & Farooq, 2026). Bu nedenle yetersiz kontrol öncelikle çevresel koşullar ve uygulama başarısı bakımından değerlendirilmeli, herbisit direnci şüphesi ise uygun biyolojik testlerle doğrulanmalıdır.

10. Entegre Yabancı Ot Yönetimi İçin Çıkarımlar

Kuraklık, bir kontrol yöntemi olmaktan ziyade yabancı ot yönetimini zorlaştıran çevresel bir etken olarak değerlendirilmelidir. Topraktan etkili herbisitler, yalancı tohum yatağı, rekabetçi çeşitler, uygun ekim sıklığı, dar sıra aralıkları, örtü bitkileri ve yüzeyde bırakılan bitki artıkları yabancı otların yerleşmesini ve kaynak kullanımını azaltabilir. Bu uygulamalar; doğru herbisit dozu ve zamanlaması, farklı etki mekanizmalarına sahip herbisitlerin kullanılması, tarla temizliği ve hayatta kalan bitkilerin ortadan kaldırılmasıyla bütünleştirilmelidir (Norsworthy et al., 2012). Çıkış sonrası herbisit uygulamaları dikkatli zamanlama gerektirir. Şiddetli su stresi altındaki yabancı otlar, yapraktan uygulanan herbisitleri daha düşük oranda absorbe edebilir ve bitki içerisinde daha sınırlı biçimde taşıyabilir. Herbisit uygulamaları ürün etiketlerine ve yerel önerilere uygun olmalıdır. Kimyasal kontrolün güvenilir olmadığı durumlarda, tohum gelişimi öncesinde toprak işleme, çapalama, elle temizleme, biçme veya diğer fiziksel yöntemler kullanılmalıdır. Yağış veya sulamanın ardından tarla kontrollerinin tekrarlanması önemlidir çünkü hem hayatta kalan bitkiler hem de geç çıkan gruplar büyümeye devam edebilir (Farooq et al., 2009; Abbas & Farooq, 2026). Sulama düzeni, yabancı ot rekabetini etkileyebilir. Damlama veya toprak altı sulama sistemleri, suyu kültür bitkisi sıralarının yakınında yoğunlaştırabilir ve sıralar arasındaki ıslanmayı azaltabilir. Ancak geniş köklere sahip yabancı otlar yine de bu suya erişebilir. Bu nedenle sulama, doğrudan yabancı ot kontrolüyle entegre edilirken, kültür bitkisinin hızlı gelişimini desteklemelidir. Su tasarrufu sağlayan sulama tek başına yabancı ot yönetiminin yerini tutmaz.

11. Araştırma Açıkları ve Gelecek Yönelimler

Mevcut kanıtların çoğu saksı, büyüme odası veya sera denemelerinden elde edilmiştir. Bu yaklaşımlar nem koşullarının hassas biçimde düzenlenmesine olanak sağlamakla birlikte, kök derinliğini sınırlandırmakta ve tarla koşullarındaki çevresel heterojenliği yeterince temsil etmemektedir. Tarla çalışmaları; sürekli toprak nemi ölçümlerini bitki su potansiyeli, gaz değişimi, kanopi sıcaklığı, kök dağılımı, kültür bitkisi verimi, canlı tohum üretimi ve tohum bankasındaki uzun dönemli değişimlerle birleştirmelidir. Gelecekteki çalışmalar; farklı yabancı ot türlerini ve popülasyonlarını, C_3 ve C_4 fotosentetik yolaklarını ve herbisite dirençli ve duyarlı

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

biyotipleri kapsamalıdır. Denemelerde su stresinin şiddeti, süresi, uygulandığı gelişme dönemi ve yeniden sulama sonrasındaki toparlanma açık biçimde değerlendirilmelidir. İki evcikli yabancı otlarda erkek ve dişi bitkilerin su stresine verdikleri tepkiler ayrı ayrı incelenmelidir. Bu faktörlerin dikkate alınmaması, çalışmalar arasında görünüşte çelişkili sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilir. Çok faktörlü çalışmalar özellikle önemlidir. Kuraklık, sıcaklık, yüksek karbondioksit seviyeleri, tuzluluk, besin maddelerinin mevcudiyeti, kültür bitkisi–yabancı ot rekabeti ve herbisit uygulamaları ile birlikte değerlendirilmelidir. Yönetim araştırmaları, aynı su rejimleri altında topraktan etkili ve çıkış sonrası uygulanan herbisitleri, toprak işlemeyi, sulama stratejilerini ve hasatta yabancı ot tohumu kontrolünü karşılaştırmalıdır. Değişken mevsimler boyunca etkili ve ekonomik olarak uygulanabilir programları belirlemek için ekonomik analiz gereklidir.

12. Sonuç

Su stresi genellikle yabancı otların çimlenmesini, vejetatif büyümesini, biyokütlesini ve tohum üretimini azaltmaktadır. Ancak bu etkiler büyük ölçüde değişiklik gösterir ve nadiren kontrolü garanti eder. Yabancı otlar, stoma düzenlemesi, ozmotik uyum, kök plastisitesi, değişen kaynak dağılımı, telafi edici büyüme, üreme güvencesi ve ana bitki etkileri yoluyla hayatta kalır. Bu tepki, türe, popülasyona, fotosentetik yolağa, gelişme dönemine, stres şiddetine, sıcaklığa, toprak özelliklerine, kültür bitkisi rekabetine ve yeniden nemlenmeye bağlıdır. En önemli yönetim dersi, kuraklık nedeniyle bastırılmış yabancı otların biyolojik açıdan önemini koruyabileceğidir. Küçük yabancı otlar yeniden gelişebilir, kültür bitkisiyle sınırlı su kaynakları için rekabet edebilir, yapraktan uygulanan herbisitlerin etkisinden kaçabilir ve tohum bankasını yenileyebilir. Sürdürülebilir yönetim; erken mücadeleyi, rekabetçi üretim sistemlerini, çeşitlendirilmiş kimyasal ve kimyasal olmayan yöntemleri, tekrarlanan tarla kontrollerini ve tohum üretiminin önlenmesini gerektirir. Bu nedenle su stresi, entegre yabancı ot yönetimi kararlarına dahil edilmeli, bu kararların yerine geçecek bir unsur olarak görülmemelidir.

Kaynakça

Abbas, T., & Farooq, N. (2026). Leaf water content: an indicator of drought stress and glyphosate efficacy in two morphologically distinct weed species. *Weed Science*, *74*(1), e6.

Berger, S. T., Ferrell, J. A., Rowland, D. L., & Webster, T. M. (2015). Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) competition for water in cotton. *Weed Science*, *63*(4), 928-935.

Chahal, P. S., Irmak, S., Jugulam, M., & Jhala, A. J. (2018). Evaluating effect of degree of water stress on growth and fecundity of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) using soil moisture sensors. *Weed Science*, *66*(6), 738-745.

Chandi, A., Jordan, D. L., York, A. C., Burton, J., Milla-Lewis, S. R., Spears, J., Whitaker, J. R., & Wells, R. (2013). Response of herbicide-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) accessions to drought stress. *International Journal of Agronomy, 2013*, Article 823913.

Chauhan, B. S. (2013). Growth response of itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) to water stress. *Weed Science*, *61*(1), 98-103.

Comas, L. H., Becker, S. R., Cruz, V. M. V., Byrne, P. F., & Dierig, D. A. (2013). Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers in Plant Science*, *4*, 442.

Cominelli, S., & Patrignani, A. (2022). Transpiration response of palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) to drying soil in greenhouse conditions. *Frontiers in Agronomy*, *4*, 1018251.

de Souza Rodrigues, J., Shilling, D., Tishchenko, V., Bowen, S., Deng, S., Hall, D. B., & Grey, T. L. (2023). Early growth, development and allometry of glyphosate-resistant and susceptible *Amaranthus palmeri* in response to current and elevated temperature and CO2. *Scientific Reports*, *13*(1), 14427.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, *29*(1), 185-212.

Flexas, J., Bota, J., Cifre, J., Mariano Escalona, J., Galmés, J., Gulías, J., ... & Medrano, H. (2004). Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. *Annals of Applied Biology*, *144*(3), 273-283.

Guo, P., & Al-Khatib, K. (2003). Temperature effects on germination and growth of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), Palmer amaranth (*A. palmeri*), and common waterhemp (*A. rudis*). *Weed Science*, *51*(6), 869-875.

Höfer, R. J., Lindner, T., Ayasse, M., & Kuppler, J. (2023). Reduced seed set under water deficit is driven mainly by reduced flower numbers and not by changes in flower visitations and pollination. *Functional Ecology*, *37*(2), 461-471.

Kalra, A., Goel, S., & Elias, A. A. (2024). Understanding role of roots in plant response to drought: Way forward to climate-resilient crops. *The Plant Genome*, *17*(1), e20395.

Khan, A. M., Mobli, A., Werth, J. A., & Chauhan, B. S. (2021). Effect of soil moisture regimes on the growth and fecundity of slender amaranth (Amaranthus viridis) and redroot pigweed (Amaranthus retroflexus). *Weed Science*, *69*(1), 82-87.

Mahajan, G., Mutti, N. K., Walsh, M., & Chauhan, B. S. (2019). Effect of varied soil moisture regimes on the growth and reproduction of two Australian biotypes of junglerice (*Echinochloa colona*). *Weed Science*, *67*(5), 552-559.

Matzrafi, M., Osipitan, O. A., Ohadi, S., & Mesgaran, M. B. (2021). Under pressure: maternal effects promote drought tolerance in progeny seed of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Weed Science*, *69*(1), 31-38.

Mausbach, J., Irmak, S., Chahal, P., Sarangi, D., & Jhala, A. J. (2022). Effect of degree of water stress on growth and fecundity of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) using soil moisture sensors. *Weed Science*, *70*(6), 698-705.

Mesgaran, M. B., Matzrafi, M., & Ohadi, S. (2021). Sex dimorphism in dioecious Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in response to water stress. *Planta*, *254*(1), 17.

Norsworthy, J. K., Ward, S. M., Shaw, D. R., Llewellyn, R. S., Nichols, R. L., Webster, T. M., ... & Barrett, M. (2012). Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations. *Weed Science*, *60*(SP1), 31-62.

Paudel, R., Grantz, D. A., Vu, H. B., & Shrestha, A. (2016). Tolerance of Elevated Ozone and Water Stress in a California Population of Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Weed Science*, *64*(2), 276-284.

Sarangi, D., Irmak, S., Lindquist, J. L., Knezevic, S. Z., & Jhala, A. J. (2016). Effect of Water Stress on the Growth and Fecundity of Common Waterhemp (*Amaranthus rudis*). *Weed Science*, *64*(1), 42-52.

Singh, M., Thapa, R., Kukal, M. S., Irmak, S., Mirsky, S., & Jhala, A. J. (2022). Effect of water stress on weed germination, growth characteristics, and seed production: a global meta-analysis. *Weed Science*, *70*(6), 621-640.

Smith, A. M., & Burns, E. E. (2022). Impacts of drought intensity and weed competition on drought-tolerant corn performance. *Weed Science*, *70*(4), 455-462.

Sodhi, G. S., Singh, S., Makkar, J., & Saini, R. (2026). Growth stage–specific water stress effects on Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) growth and fecundity. *Weed Science*, *74*(1), e45.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Vaughn, L. G., Bernards, M. L., Arkebauer, T. J., & Lindquist, J. L. (2016). Corn and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) growth and transpiration efficiency under varying water supply. *Weed Science*, *64*(4), 596-604.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ENTEGRE YABANCI OT YÖNETİMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Arş. Gör. Seren DOĞAR KAVAN

Iğdır University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Iğdır, Türkiye, seren.kavan@igdir.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2757-594X

Doç. Dr. Ramazan GÜRBÜZ

Iğdır University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Iğdır, Türkiye, r_grbz@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-3558-9823

Özet

Entegre yabancı ot yönetimi (IWM), yabancı otların kültür bitkileriyle rekabetini ve gelecekteki popülasyon artışını sınırlandırmak amacıyla önleyici tedbirleri, yetiştirme uygulamalarını, doğrudan mücadele yöntemlerini ve düzenli izlemeyi bir araya getirir. Bu anlatısal derlemede IWM'nin ekolojik temelleri ve uygulamadaki etkinliği; özellikle ekim nöbeti, rekabet gücü yüksek kültür bitkisi yetiştiriciliği, örtü bitkileri, mekanik mücadele, herbisitlerin bilinçli kullanımı, direnç yönetimi ve hassas tarım teknolojileri açısından incelenmektedir. Bulgular, uygulamaları çeşitlendirmenin yararının, bu uygulamaların yabancı otların çıkışını, hayatta kalmasını ve tohum üretimini ne zaman ve nasıl etkilediğine bağlı olduğunu göstermektedir. Yerel yabancı otların biyolojisi dikkate alınmadan programa yeni yöntemler eklenmesi, etkili kontrolü garanti etmez. Uzun süreli sistem çalışmalarında toprak tohum bankasının ve geçmiş yönetim uygulamalarının önemi vurgulanırken, herbisit direnci araştırmaları sınırlı sayıdaki kimyasal seçeneğe bağımlılığın neden riskli olduğunu ortaya koymaktadır. Çevresel etkilerin değerlendirilmesi de yalnızca kullanılan herbisit miktarıyla sınırlı kalmamalıdır. Kentsel sert zeminlerde yapılan bir karşılaştırma, entegre yönetimin modellenen sucul ekotoksisiteyi azaltırken fosil kaynak tüketimini artırabildiğini göstermiştir. Bu nedenle sürdürülebilir IWM; birbirini tamamlayan yöntemlerin yerel koşullara uyarlanmasını, düzenli izlemeyi ve yabancı ot kontrolü, ürün verimliliği, maliyetler, direnç riski, enerji kullanımı ile hedef dışı çevre üzerindeki etkilerin birlikte değerlendirilmesini gerektirir. Gelecekteki çalışmalar, bütüncül yönetim programlarını gerçekçi uygulama koşullarında, farklı yerlerde ve birden fazla yetiştirme sezonu boyunca karşılaştırmalıdır.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Anahtar kelimeler: entegre yabancı ot yönetimi; ekim nöbeti; örtü bitkileri; herbisit direnci; hassas tarım; sürdürülebilirlik

INTEGRATED WEED MANAGEMENT AND SUSTAINABILITY

Abstract

Integrated weed management (IWM) combines preventive measures, cropping practices, direct control, and monitoring to limit weed interference and future population growth. This narrative review examines the ecological basis and practical performance of IWM, with particular attention to crop rotation, competitive crop establishment, cover crops, mechanical control, judicious herbicide use, resistance management, and precision technologies. Evidence indicates that the value of diversification depends on when and how practices alter weed emergence, survival, and seed production; adding tactics without regard to local weed biology does not guarantee control. Long-term systems studies underline the importance of weed seedbanks and management history, whereas research on herbicide resistance shows why dependence on a narrow set of chemical options is vulnerable. Environmental performance also requires a broader assessment than herbicide quantity alone. An urban hard-surface comparison showed that integrated management could reduce modeled aquatic ecotoxicity while increasing fossil resource consumption. Sustainable IWM therefore calls for locally adapted combinations of complementary tactics, repeated monitoring, and evaluation of weed suppression, crop productivity, costs, resistance risk, energy use, and impacts on non-target environments. Future work should compare complete management programs across seasons and sites under realistic operational conditions.

Keywords: integrated weed management; crop rotation; cover crops; herbicide resistance; precision agriculture; sustainability

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

1. Giriş

Yabancı otlar, ortaya çıkışları ve büyümeleri ekili bitkilerinkiyle çakıştığı için tarımsal üretimde süregelen bir sorun olmaya devam etmektedir. Işık, su, besin maddeleri ve alan için yaşanan rekabet, kültür bitkisinin yerleşmesini ve verimini sınırlayabilir; ayrıca yabancı otlar hasadı engelleyebilir ve ürün kalitesini düşürebilir. Bunun sonuçları tek bir büyüme mevsimiyle sınırlı kalmaz. Uygulamadan sağ kurtulan ve tohum oluşturan bitkiler, topraktaki tohum bankasını yenileyebilir; bu da, görünüşte başarılı olan kısa vadeli bir müdahalenin ardından yeniden istila yaşanmasına yol açabilir. Bu nedenle bir yönetim programı, mevcut ürünü korumalı ve sonraki ürünlerde karşılaşılan yabancı ot popülasyonlarını etkilemelidir (Cordeau et al., 2022; Riemens et al., 2022).

Herbisitler, birçok üretim sisteminde etkili ve zamanında mücadele imkânı sunmaktadır. Benzer etki mekanizmalarına sahip herbisitlerin tekrarlı kullanımı, dirençli bireylerin seçilmesine ve popülasyon içindeki oranlarının artmasına yol açabilir. Aynı grup içindeki farklı bir herbisite geçmek her zaman sorunu çözmez; çünkü çapraz direnç kalıpları türlere, popülasyona ve altta yatan direnç mekanizmasına göre değişiklik gösterir (Riechers et al., 2024). Başka herhangi bir tek taktiğe bağımlılık da sınırlamalar getirir. Toprak işleme, toprak ve hava koşulları nedeniyle kısıtlanırken, canlı malçlar kötü yönetildiğinde kültür bitkisi ile rekabet edebilir. Bu sınırlamalar, yabancı ot yaşam döngüsünün farklı aşamalarında etki gösteren yöntemleri birleştiren programlara olan ilgiyi yeniden canlandırmıştır.

Entegre yabancı ot yönetimi (IWM), uzun vadeli bir stratejinin koordineli bileşenleri olarak önleyici, kültürel, mekanik, biyolojik ve kimyasal uygulamaları kullanır. Amacı, mümkün olduğunda yabancı otların yerleşmesini önlemek, kültür bitkisinin hassas aşamalarında yabancı otların olumsuz etkisini azaltmak ve canlı tohumların geri dönüşünü sınırlamaktır. Riemens ve ark. (2022) tarafından açıklanan çerçeve, ekim sistemi çeşitliliği, çeşit seçimi ve ekimi, tarla ve toprak yönetimi, doğrudan mücadele ile izleme ve değerlendirme unsurlarını bir araya getirir. Bu tür bir entegrasyon, hedef yabancı otu, ürünü, mevsimi ve üreticinin elindeki kaynakları yansıtan seçimler yapılmasını gerektirir.

Sürdürülebilirlik, etkinlik değerlendirmesine yeni sorular eklemektedir. Daha az herbisit kullanan bir program, daha fazla iş gücü veya yakıt gerektirebilir; yabancı otları bastıran bir uygulama, ürün verimliliğini de düşürebilir; mevcut bitkileri kontrol altına alan bir müdahale ise tohum bankası dinamiklerini değiştirmeyebilir. Panotra ve ark. (2025) çok çeşitli tarımsal yaklaşımları özetlerken, Warner ve ark. (2026) farklı yabancı ot kontrol programlarının kentsel

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

bir ortamda çevresel yükleri nasıl kaydırabileceğini ortaya koymaktadır. Bu derleme, bu katkıları, ekim nöbeti, canlı malçlar, direnç ve uzun vadeli yönetim konularında seçilmiş araştırmalarla bir araya getirmektedir. Derlemenin amacı, entegre yabancı ot yönetimi (IWM) uygulamalarının birbirleriyle nasıl etkileşime girdiğini ve bunların tarımsal ve çevresel sonuçlarının nasıl değerlendirilmesi gerektiğini açıklamaktır.

Bu çalışma, entegre yabancı ot yönetiminin ekolojik temellerini, uygulamadaki etkinliğini ve sürdürülebilirlik açısından sonuçlarını değerlendiren anlatısal bir derlemedir. Kaynak seçiminde Panotra ve ark. (2025) ile Warner ve ark. (2026) çalışmalarından ve bu yayınların kaynakçalarından yararlanılmıştır. Ekim nöbeti, toprak tohum bankası, örtü bitkileri ve canlı malçlar, herbisit direnci, hassas mücadele teknolojileri ile çevresel ve ekonomik değerlendirmeleri ele alan ilgili yayınlar kapsam içine alınmıştır. Aktarılan bulgular ve bibliyografik bilgiler orijinal yayınlar üzerinden kontrol edilmiştir. İncelenen çalışmaların kültür bitkileri, yabancı ot türleri, yetiştirme koşulları ve değerlendirme ölçütleri bakımından farklılık göstermesi nedeniyle nicel bir birleştirme yapılmamış; bulgular, yöntemlerin katkıları, sınırlılıkları ve birbirlerini tamamlama olanakları açısından niteliksel olarak sentezlenmiştir.

2. Önleme ve yabancı ot popülasyonlarının ekolojisi

Yabancı ot tohum bankası, mevsimler arası yönetim kararlarını birbirine bağlar. Bileşimi, önceki ürünleri, mücadele yöntemlerini, tohum yayılımını ve üreme yeteneğine sahip bitkilerin hayatta kalmasını yansıtır. Bu nedenle önleme, temiz ekim materyali ve makineleri, tarla sınırlarına özen gösterilmesi ve tohum üretmeden önce mücadeleden kurtulan yabancı otların zamanında ortadan kaldırılmasını içerir. Her bir uygulamanın katkısı, baskın türlerin biyolojisine bağlıdır: Kısa ömürlü bir tohum bankası, tohum yağmurunun önlenmesine nispeten hızlı tepki verebilirken, kalıcı bir tohum bankası ise birkaç yıllık koordineli yönetim gerektirebilir (Riemens et al., 2022).

Uygulamadan hemen sonra yapılan yabancı ot sayımları, mücadelenin kısa vadeli etkinliğini gösterir; ancak sonraki çıkışları, mücadeleden kurtulan bitkilerin tohum üretimini ve toprak tohum bankasındaki değişimleri tek başına açıklamaz. Bu nedenle uzun süreli denemeler, yönetim uygulamalarının birikimli etkilerini değerlendirmek açısından önemlidir. Cordeau ve ark. (2022), 17 yıl boyunca uygulanan farklı entegre yabancı ot yönetimi sistemlerinin ardından, yabancı ot topluluklarını ve toprak tohum bankasını incelemiştir. Çalışmada, entegre yönetim sistemlerinde ortaya çıkan yabancı ot topluluklarının tür zenginliği ve toplam yoğunluğu, geleneksel referans sisteme göre daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuç,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

farklı yöntemlerin bir araya getirilmesinin her koşulda daha düşük yabancı ot yoğunluğu sağlamadığını göstermektedir. Dolayısıyla entegre yönetimin başarısı; yabancı ot yoğunluğu, tür bileşimi, tohum bankası ve kültür bitkisi verimi gibi göstergelerin birlikte ve uzun vadede değerlendirilmesini gerektirir.

Yabancı ot toplulukları da yönetim faaliyetlerinin yarattığı ekolojik fırsatlara tepki gösterir. Ekim zamanının, kültür bitkisi örtüsünün gelişiminin ve toprak işleme gibi müdahalelerin yıllar boyunca benzer bir takvimde tekrarlanması, yaşam döngüsü bu koşullara uyum sağlayan yabancı ot türlerini destekleyebilir. Entegre yabancı ot yönetimi, kültür bitkisinin verimliliğini korurken yetiştirme ve müdahale takvimini çeşitlendirerek belirli yabancı ot türlerinin sürekli aynı koşullardan yararlanmasını sınırlandırmayı amaçlar. Hiçbir taktik her durumda doğası gereği önleyici değildir: örneğin, toprak işleme, ortaya çıkmış bitkileri bastırırken, toprağın altında kalan tohumları yeniden dağıtır. Alınacak kararlar, yerel toprak koşullarını ve hedef yabancı otun ortaya çıkma ve kalıcılık özelliklerini yansıtmalıdır.

3. Ekim nöbeti ve rekabet gücü yüksek kültür bitkisi yetiştiriciliği

Ekim nöbeti, ekim, hasat, toprak işleme ve kültür bitkisi–yabancı ot rekabetinin zamanlamasını değiştirir. Farklı ekim mevsimlerine sahip kültür bitkilerinin dönüşümlü yetiştirilmesi, belirli bir üretim takvimine uyum sağlamış yabancı otların yaşam döngüsünü kesintiye uğratabilir ve mücadele için farklı dönemlerde fırsatlar oluşturabilir. Weisberger ve ark. (2019), 54 çalışmadan elde edilen 298 eşleştirilmiş gözlemi değerlendirdikleri meta-analizde, basit ekim nöbetlerinin çeşitlendirilmesinin yabancı ot yoğunluğunu ortalama %49 azalttığını, ancak yabancı ot biyokütlesi üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etki oluşturmadığını bildirmiştir. Bu bulgu, yoğunluktaki azalmanın biyokütlede aynı düzeyde bir azalma sağlayamayabileceğini göstermektedir. Ayrıca yabancı otların baskılanmasında, yalnızca kültür bitkisi sayısının artırılmasından ziyade ekim ve müdahale zamanlarının çeşitlendirilmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle ekim nöbeti, hedef yabancı otların biyolojisi ve kültür bitkilerinin yetiştirme özellikleri birlikte dikkate alınarak planlanmalıdır.

Her bir üründe, hızlı yerleşim ve rekabetçi bir bitki örtüsü, yabancı otların yararlanabileceği ışık ve alanı kısıtlayabilir. Çeşit seçimi, ekim tarihi, bitki yoğunluğu ve sıra düzeni bu etkiye katkıda bulunabilir; ancak önerilerde hastalıklar, yatma, su mevcudiyeti ve verim potansiyeli de dikkate alınmalıdır (Riemens et al., 2022; Panotra et al., 2025). Amaç, yabancı otların etkisinin en zararlı olduğu aşamalarda bitkinin kaynakları daha iyi kullanmasını sağlamaktır. Bu tarımsal uygulamalar, doğrudan mücadele yöntemleri üzerindeki baskıyı azaltır

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ancak mücadeleden kurtulan yabancı otların tespit edilmesi ve yönetilmesi ihtiyacını ortadan kaldırmaz.

Ekim nöbeti seçeneklerinin ekonomik sonuçları da vardır. İlkbahar ürünü, yem bitkisi veya nadas dönemi, yabancı ot kontrolünü kolaylaştırabilir ancak çiftlik üretiminin bileşimini ve değerini değiştirebilir. Metcalfe ve ark. (2024) tarafından glifosat içermeyen stratejiler üzerine yapılan simülasyonlar, yabancı ot bolluğu, ekilebilir alan biyolojik çeşitliliği, gıda üretimi ve ekonomik performansın farklı yönlere doğru ilerleyebileceğini göstermiştir. Bu nedenle, sürdürülebilir bir ekim nöbeti tasarımı, tek bir yıldaki yabancı otların bastırılmasına odaklanmak yerine, uygun ürünlerin ve pazarların mevcudiyeti de dahil olmak üzere tüm döngünün karşılaştırılmasını gerektirir.

4. Örtü bitkileri ve diğer kimyasal olmayan önlemler

Örtü bitkileri, toprak yüzeyini erken dönemde kaplayarak, ışık, su ve besin maddeleri için yabancı otlarla rekabet ederek ve sonlandırıldıktan sonra yüzeyde malç tabakası oluşturarak yabancı otları baskılayabilir. Başarıları, yerleşime, biyokütle birikimine, tür bileşimine ve sonraki ürüne göre sonlandırma zamanlamasına bağlıdır. Yetersiz bir şekilde yerleşmiş bir örtü bitkisi, yabancı otları çok az bastırabilir; aşırı büyüme veya gecikmiş sonlandırma, ekimi zorlaştırabilir ve kurak koşullarda su için rekabet yaratabilir. Canlı malçlar, ana ürünle birlikte kalmaya devam ettikleri için özellikle dikkatli bir yönetim gerektirir. Bhaskar ve ark. (2021), bastırma işleminin kabul edilemez bir ürün rekabetine dönüşmemesi için canlı malç, ürün ve yabancı otların büyümesinin koordine edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Mekanik toprak işleme, biçme ve elle ayıklama, herbisit etkisine bağlı kalmadan yabancı otları kontrol altına alabilir. Ancak bu yöntemlerin etkinliği, yabancı otların büyüklüğüne, kök sistemine, toprak nemine, sıra arası mesafeye ve uygun aşamada uygulanabilme imkânına bağlıdır. Toprak işleme, küçük fideler üzerinde etkili olabilir ancak ekin sıralarındaki yabancı otları gözden kaçırabilir veya tekrarlı geçişler gerektirebilir. Mekanik yöntemler ayrıca işgücü, makine maliyetleri ve potansiyel toprak bozulmasını da beraberinde getirir. Bu yöntemlerin değeri, önleyici ve kültürel yöntemleri tamamladıkları zaman en yüksek seviyeye ulaşır; böylece müdahalelerin sayısı veya yoğunluğu sınırlandırılabilir (Panotra et al., 2025).

Biyolojik ajanlar ve bitki kaynaklı bileşikler de araştırma konularından bazılarıdır. Ancak laboratuvar çalışmaları tek başına sahada güvenilir bir mücadeleyi garanti etmez. Bu tür yaklaşımların tarla koşullarında uygulanabilir mücadele programlarına dahil edilebilmesi için,

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

seçicilik, formülasyon, ajanın hayatta kalma süresi, iklim duyarlılığı ve hedef türler arasında tutarlılık gibi unsurlar değerlendirilmelidir. Genel bir entegre yabancı ot yönetimi (IWM) stratejisi için temel soru, alternatif bir yöntemin kabul edilemez düzeyde ürün veya çevresel maliyetler yaratmadan, faydalı bir aşamada güvenilir bir mücadeleye katkıda bulunup bulunmadığıdır (Panotra et al., 2025).

5. Herbisit kullanımı ve direnç yönetimi

Herbisitler, entegre yabancı ot yönetiminde kullanılan doğrudan mücadele yöntemlerinden biridir. Herbisit seçiminde ve uygulamasında hedef yabancı ot türü ve gelişme dönemi, kültür bitkisinin herbisite toleransı, herbisitin hedef türe etkinliği ve uygulama koşulları dikkate alınmalıdır. Bir uygulama başarısız olduğunda, hayatta kalmanın dirence atfedilmesinden önce hava koşulları, uygulama zamanı, doz ve püskürtme kaplamasının yeterliliği incelenmelidir. Doğrulanmış direnç durumu, tohum oluşturabilecek hayatta kalanların sayısını azaltacak adımları da içeren, yönetim sisteminde daha kapsamlı bir değişiklik gerektirir.

Hedef yabancı ot popülasyonuna etkili, farklı etki mekanizmalarına sahip herbisitlerin uygun şekilde dönüşümlü kullanılması veya karışım hâlinde uygulanması, tek bir etki mekanizmasına bağlı seçilim baskısını azaltmaya katkı sağlayabilir. Ancak herbisitin etki mekanizması grubu, hedef popülasyona karşı etkili olduğunu tek başına göstermez. Riechers ve ark. (2024), herbisit grupları içindeki çapraz direncin karmaşıklığını ve direnç mekanizmalarının mücadele başarısındaki önemini vurgulamaktadır. Herbisit kullanımının çeşitlendirilmesi; ekim nöbeti, kültür bitkisinin rekabet gücünü artıran uygulamalar, yabancı otların taşınmasını önleyen hijyen tedbirleri ve mücadeleden kurtulan yabancı otların ortadan kaldırılmasıyla desteklenmelidir. Bu uygulamalar, yabancı otların yaşam döngüsündeki farklı aşamaları hedefleyerek tek bir mücadele yöntemine bağımlılığı azaltır.

Kanada Prairies bölgesinde yürütülen sistem araştırmaları, dirençli yabancı otların yönetiminde ekim nöbeti, tarımsal uygulamalar, herbisit programları ve hasat sırasında yabancı ot tohumlarının kontrolünü incelemiştir (Tidemann et al., 2023). Hasat sırasında yabancı ot tohumlarının kontrolü, hedef türlerin hasat sırasında canlı tohumlarını bitki üzerinde tuttuğu ve toplama işleminin etkili olduğu durumlarda geçerlidir; tohum dökülme zamanlaması ise diğer durumlarda bu yöntemin yararını sınırlayabilir. Bu örnek, genel bir ilkeyi pekiştirmektedir: bir direnç stratejisi, yerel yabancı ot biyolojisine uygun olmalı ve birden fazla ekim sezonunda değerlendirilmelidir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

6. Hassas yönetim ve hedefli müdahale

Yabancı ot istilaları genellikle mekânsal olarak dengesiz bir dağılım gösterir. Tarla gözlemleri, haritalama, sensörler ve makine görüşü, sorunlu bölgelerin belirlenmesine ve mücadele uygulamalarının yalnızca müdahale gerektiren alanlara yönlendirilmesine yardımcı olabilir. Alana özgü herbisit uygulaması ve otomatik toprak işleme, yabancı ot bulunmayan alanların işlenmesini azaltabilir; ancak performans, ilgili büyüme aşamasında doğru tespit yapılmasına ve tarla koşullarında hassas uygulama yapılmasına bağlıdır. Ekipman maliyeti, çalışma hızı, bakım ve ürün güvenliği de uygulamaya geçirilmesini etkileyen faktörlerdir (Panotra et al., 2025).

Hassas araçlar, yönetim kararlarını iyileştirdiklerinde en büyük katkıyı sağlarlar. Bir yabancı ot haritası, yabancı otların tekrar görüldüğü bölgeleri belirleyerek takip gözlemlerine ve tohum üretiminden önce mücadeleden kurtulan bitkilerin ortadan kaldırılmasına yön verebilir. Bu araçların değeri, yabancı otların hayatta kalma oranı, girdi tasarrufu, tarlada geçirilen süre, enerji kullanımı ve maliyet dikkate alınarak gerçekçi bir geleneksel programla karşılaştırılarak ölçülmelidir. Sadece ilaçlanan alanın azalması, uzun vadeli popülasyon artışının sınırlandırıldığını göstermez.

7. Çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik

IWM genellikle herbisit bağımlılığının azaltılmasıyla ilişkilendirilir; ancak bir yöntemin başka bir yöntemle değiştirilmesinin çevresel sonuçları değerlendirilmelidir. Herbisit kullanımı, hedef dışı organizmalara ve suya maruz kalma yolları yaratabilirken, tekrarlanan mekanik veya termal işlemler yakıt, elektrik ve işgücü gerektirir. İlgili karşılaştırma, sadece tek tek uygulamalar arasında değil, benzer bir yabancı ot yönetimi hedefine ulaşan kapsamlı programlar arasında yapılmalıdır.

Warner ve ark. (2026), kentsel sert yüzeylerde sadece glifosat kullanılan, entegre ve herbisit kullanılmayan programları karşılaştırmıştır. Söz konusu çalışmada, entegre programda fırçalama veya termal işlemlerle birlikte standart programda kullanılan glifosat miktarının en fazla yarısı kullanılmıştır. Entegre programın modellenen ağırlıklı sucul ekotoksisitesi, yalnızca herbisit kullanılan programın %28'i düzeyinde bulunurken, fosil kaynak tükenmesi aynı programın 1,5 katı olarak belirlenmiştir. Herbisit kullanılmayan programın fosil kaynak tükenmesi ise yalnızca herbisit kullanılan programın 6,2 katı olarak hesaplanmıştır (Warner et al., 2026). Bu bulgular, bir çevre göstergesindeki iyileşmenin başka bir göstergedeki maliyetlerle eşzamanlı olabileceğini göstermektedir.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Kentsel zemin, tarım arazisi değildir: yüzey akışı, yüzey özellikleri, yönetim eşikleri ve ekipmanlar farklılık gösterir. Dolayısıyla, kentsel çalışmanın sayısal sonuçları tarımsal üretime aktarılmamalıdır. Buradan çıkarılacak daha geniş kapsamlı ders, maruz kalma yolunu tanımlamak ve çeşitli etkileri karşılaştırmaktır. Tarım sistemlerinde bu, yabancı ot kontrolü ve ürün veriminin yanı sıra herbisit yükü, toprak bozulması, yakıt kullanımı, işgücü ve maliyetleri de içerir. Bir taktik, sadece tercih edilen bir kategoriye ait olduğu için değil, yerel koşullar altında etkili ve uygulanabilir bir programa katkıda bulunduğu ölçüde sürdürülebilirdir.

Entegre yabancı ot yönetiminde yöntemler, tarla gözlemlerine dayanan ve birbirini tamamlayan bir uygulama sırası içinde planlanmalıdır. İlk aşamada baskın yabancı ot türleri, yoğunlukları, çıkış dönemleri ve geçmiş mücadele sonuçları belirlenmelidir. Bu bilgiler doğrultusunda ekim nöbeti, çeşit seçimi, ekim zamanı ve sıra düzeni, kültür bitkisinin rekabet gücünü artıracak şekilde düzenlenmelidir. Örtü bitkileri ve mekanik mücadele gibi yöntemler, yetiştirme koşullarına ve hedef türlerin gelişme dönemlerine uygun olarak programa dahil edilmeli; gerektiğinde etkili herbisitlerle desteklenmelidir. Uygulama sonrasında mücadeleden kurtulan yabancı otlar izlenmeli ve tohum üretmeleri önlenmelidir. Sezon sonunda yabancı ot yoğunluğu ve biyokütlesi, kültür bitkisi verimi, işgücü, enerji kullanımı ve maliyetler birlikte değerlendirilerek sonraki sezonun yönetim programı güncellenmelidir. Böylece entegrasyon, yöntemlerin yalnızca bir arada kullanılmasından öte, yabancı otların yaşam döngüsündeki farklı aşamaları hedefleyen ve izleme sonuçlarına göre uyarlanan bir yönetim sürecine dönüşür (Riemens et al., 2022; Panotra et al., 2025).

8. Değerlendirme ve araştırma ihtiyaçları

Bir IWM programının etkinliği, çeşitli zaman ölçeklerinde değerlendirilmelidir. Bir mevsim içinde, yöneticiler uygulama öncesinde yabancı ot yoğunluğunu ve türlerini, uygulama sonrasında hayatta kalma oranlarını, ürünün büyümesini, verimi ve müdahalelerin maliyetini kaydedebilirler. Hasattan önce, hayatta kalan yabancı otlara ve potansiyel tohum üretimine dikkat edilmesi gerekir. Sezonlar boyunca tür bileşimi, tohum bankası eğilimleri ve direnç şüphesine ilişkin tekrarlanan gözlemler, programın görünür bitkileri geçici olarak bastırmak yerine altta yatan popülasyonu değiştirip değiştirmediğini gösterir (Cordeau et al., 2022; Riemens et al., 2022).

Araştırma karşılaştırmalarında, hangi sonuçların optimize edildiği açıkça belirtilmelidir. Bir program, verimi artırmadan yabancı ot yoğunluğunu azaltabilir ya da herbisit kullanımını azaltırken mekanik işlem sayısını artırabilir. İşçilik ve makine ihtiyaçlarının, tarımsal ve

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

çevresel göstergelerle birlikte raporlanması, deneysel olarak başarılı bir kombinasyonu rutin olarak uygulanabilir olandan ayırt etmeye yardımcı olacaktır. Yabancı otların çıkışı ve kaynakların mevcudiyeti değiştiğinde aynı yöntemin farklı sonuçlar verebileceği için, farklı iklimlerde, toprak türlerinde ve ekim nöbetlerinde denemeler yapılması gerekmektedir.

İklim değişkenliği, uyarlanabilir izlemenin önemini artırmaktadır. Sıcaklık, toprak nemi ve değişen büyüme mevsimleri, yabancı otların ortaya çıkmasını ve rekabetini; ayrıca mücadele yöntemlerinin zamanlamasını ve etkinliğini etkilemektedir (Anwar et al., 2021). Gelecekteki çalışmalar, tarla koşulları altında kuraklık, sıcaklık, ürün rekabeti ve direncin bir arada etkilerini incelemelidir. Ayrıca, hassas hedefleme ve yerel koşullara uyarlanmış kombinasyonların, kabul edilebilir verimlilik ve ekonomik performansı korurken uzun vadede yabancı ot popülasyonunun büyümesini azaltıp azaltmadığını da değerlendirmelidir.

9. Sonuçlar

Entegre yabancı ot yönetiminin başarısı, yöntemlerin sayısından çok, hedef türlerin biyolojisine uygun biçimde seçilmesine ve birbirini tamamlayacak zamanlarda uygulanmasına bağlıdır. Ekim nöbeti, kültür bitkisinin rekabet gücünü artıran uygulamalar ve doğrudan mücadele, mevcut yabancı otları baskılarken tohum bankasının yenilenmesini de sınırlandırmalıdır. Sürdürülebilirlik ise yalnızca herbisit kullanımındaki azalmayla değil; yabancı ot kontrolü, kültür bitkisi verimi, direnç riski, maliyetler ve çevresel etkiler birlikte değerlendirilerek belirlenmelidir. Bu nedenle yönetim programları, çok yıllı izleme sonuçlarına göre güncellenmelidir.

Kaynakça

Anwar, M. P., Islam, A. M., Yeasmin, S., Rashid, M. H., Juraimi, A. S., Ahmed, S., & Shrestha, A. (2021). Weeds and their responses to management efforts in a changing climate. *Agronomy*, *11*(10), 1921.

Bhaskar, V., Westbrook, A. S., Bellinder, R. R., & DiTommaso, A. (2021). Integrated management of living mulches for weed control: A review. *Weed Technology*, *35*(5), 856-868.

Cordeau, S., Baudron, A., Busset, H., Farcy, P., Vieren, E., Smith, R. G., ... & Adeux, G. (2022). Legacy effects of contrasting long-term integrated weed management systems. *Frontiers in Agronomy*, *3*, 769992.

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

Metcalfe, H., Storkey, J., Hull, R., Bullock, J. M., Whitmore, A., Sharp, R. T., & Milne, A. E. (2024). Trade-offs constrain the success of glyphosate-free farming. *Scientific Reports*, *14*(1), 8001.

Panotra, N., Ashoka, P., Vashistha, A., Mohanty, L. K., Yadav, V., Gopal, R., ... & Kaur, S. (2025). Integrated weed management in modern agriculture: A review of innovative approaches and their efficiency. *J. Sci. Res. Rep*, *31*, 775-797.

Riechers, D. E., Soltani, N., Chauhan, B. S., Concepcion, J. C. T., Geddes, C. M., Jugulam, M., ... & Sikkema, P. H. (2024). Herbicide resistance is complex: a global review of cross-resistance in weeds within herbicide groups. *Weed Science*, *72*(5), 465-486.

Riemens, M., Sønderskov, M., Moonen, A. C., Storkey, J., & Kudsk, P. (2022). An integrated weed management framework: a pan-European perspective. *European Journal of Agronomy*, *133*, 126443.

Tidemann, B. D., Harker, K. N., Shirtliffe, S., Willenborg, C., Johnson, E., Gulden, R., ... & Zuidhof, J. (2023). Using integrated weed management systems to manage herbicide-resistant weeds in the Canadian Prairies. *Frontiers in Agronomy*, *5*, 1304741.

Warner, D., Davies, M., Hipps, N., Tzilivakis, J., Lewis, K., & Fountain, M. (2026). Integrated weed management reduces the environmental impact of urban amenity weed control. *Weed Science*, *74*(1), e39.

Weisberger, D., Nichols, V., & Liebman, M. (2019). Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis. *PloS one*, *14*(7), e0219847.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ANAEROBİK FUNGUSLARIN LİKENAZ ENZİM ÜRETİMİ, KAREKTERİZASYONU VE BİYOTEKNOLOJİK KULLANILABİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ, ARAŞTIRILMASI

ÖZGÜR KIRMIZITAŞ
Munzur Üniversitesi,
kirmizitas@hotmail.com - 0009-0008-2403-2070
Dr. Öğr. Üyesi BÜLENT KAR
Munzur Üniversitesi,
bkar@munzur.edu.tr - 0000-0002-8839-2605

ÖZET

Rumen fungusları, ruminantların sindirim sisteminde bulunan ve ökaryotlar grubuna ait zorunlu anaerobik mikroorganizmalardır. Bu organizmalar, sahip oldukları lignoselülotik ve fibrolitik enzimler sayesinde bitkisel hücre duvarı bileşenlerinin parçalanmasında önemli rol oynamaktadır. Enzim repertuarlarının önemli bir kısmı karbonhidrat aktif enzimler (CAZymes) içerisinde yer almakta olup, bu özellikleri nedeniyle biyoteknolojik ve endüstriyel uygulamalar için değerli alternatif enzim kaynakları olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, bu mikroorganizmaların anaerobik in vitro koşullarda kültüre alınması ve sürdürülen izolasyon çalışmaları, ilgili türler için kültür koleksiyonlarının oluşturulmasının kritik önem taşıdığını göstermektedir. Bu çalışmanın amacı, Tunceli bölgesinde yayılış gösteren keçilerden izole edilen *Piromyces* sp. suşlarına ait likenaz enziminin karakterizasyonunu gerçekleştirmek ve biyoteknolojik kullanım potansiyelini ortaya koymaktır. Bu kapsamda, Tunceli'nin kırsal bölgelerinden toplanan keçi dışkısı örneklerinden *Piromyces* sp. izolatları elde edilmiş, söz konusu fungus tarafından üretilen likenaz enzimi in vitro koşullarda karakterize edilmiştir. MUBAM 4 kültür koleksiyon numarasıyla kayıtlı Piromyces sp. izolatı tarafından salgılanan likenaz enziminin optimum çalışma sıcaklığının 50°C, optimum pH değerinin ise 7,0 olduğu belirlenmiştir. Enzim, optimum sıcaklık koşullarında 310,1 µmol/dk/mg protein ile en yüksek spesifik aktiviteyi gösterirken, optimum pH koşullarındaki en yüksek spesifik aktivitesi 100,4 µmol/dk/mg protein olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, enzimin optimum çalışma sıcaklığında termal stabilitesinin %10 oranında rölatif aktivite kaybına uğradığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, likenaz enziminin biyoteknolojik ve endüstriyel uygulamalar açısından uygun sıcaklık ve pH özelliklerine sahip olduğu, ancak termal stabilitede gözlenen azalmanın dikkate alınması gereken bir faktör olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Anaerobik fungus, *Piromyces* sp., Likenaz, Biyoteknoloji

[1]Bu çalışma, Özgür KIRMIZITAŞ'ın "Anaerobik Fungusların Likenaz Enzim Üretimi, Karekterizasyonu ve Biyoteknolojik Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi, Araştırılması" başlıklı Yüksek Lisans Tezinden türetilmiştir (Munzur Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, 2023). Ayrıca çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından YLMUB022-07numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

INVESTIGATION OF LICHENASE ENZYME PRODUCTION, CHARACTERİZATION, AND BIOTECHNOLOGICAL APPLICABILITY OF ANAEROBIC FUNGI

OZGUR KIRMIZITAŞ
Munzur University,
kirmizitas@hotmail.com - 0009-0008-2403-2070
ASST. PROF. BULENT KAR
Munzur University,
bkar@munzur.edu.tr - 0000-0002-8839-2605

ÖZET

Rumen fungi are obligate anaerobic microorganisms belonging to the eukaryote group that are found in the digestive system of ruminants. Thanks to their lignocellulolytic and fibrolytic enzymes, these organisms play a significant role in the breakdown of plant cell wall components. A significant portion of their enzyme repertoire consists of carbohydrate-active enzymes (CAZymes), and due to these properties, they are considered valuable alternative enzyme sources for biotechnological and industrial applications. Furthermore, the ability to culture these microorganisms under anaerobic in vitro conditions and ongoing isolation efforts demonstrate the critical importance of establishing culture collections for the relevant species. The aim of this study is to characterize the lichenase enzyme from Piromyces sp. strains isolated from goats found in the Tunceli region and to determine its potential for biotechnological applications. In this context, Piromyces sp. isolates were obtained from goat feces samples collected from rural areas of Tunceli, and the lichenase enzyme produced by this fungus was characterized under in vitro conditions. It was determined that the lichenase enzyme secreted by the Piromyces sp. isolate, registered under MUBAM culture collection number 4, has an optimal operating temperature of 50°C and an optimal pH of 7.0. The enzyme exhibited the highest specific activity of 310.1 µmol/min/mg protein under optimal temperature conditions, while its highest specific activity under optimal pH conditions was determined to be 100.4 µmol/min/mg protein. Additionally, it was determined that the enzyme's thermal stability at the optimal operating temperature resulted in a 10% loss of relative activity. In conclusion, it was determined that the lichenase enzyme possesses suitable temperature and pH characteristics for biotechnological and industrial applications; however, the observed decrease in thermal stability is a factor that must be taken into account.

Keywords: Anaerobic fungus, *Piromyces* sp., Lichenase, Biotechnology

[1]This study is derived from the Master's thesis by Özgür Kırmızıtaş titled "Investigation and Determination of Lichenase Enzyme Production, Characterization, and Biotechnological Applicability of Anaerobic Fungi" (Munzur University, Institute of Science, Department of Biotechnology, 2023). Additionally, the study was supported by the Munzur University Scientific Research Projects Unit under project number YLMUB022-07.

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

SEROPREVALENCE OF BRUCELLA ABORTUS AND BRUCELLA MELITENSIS INFECTION IN DAIRY CATTLE AND SMALL RUMINANTS AND ASSOCIATED RISK FACTORS IN RURAL REGIONS OF IRAN

Assoc. Prof. Dr. Ali Asghar Sadeghi Zadeh[1]
[1]University of Tehran, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Microbiology and Immunology, Tehran, Iran

ABSTRACT

Brucellosis remains one of the most important zoonotic diseases in the Middle East, causing substantial economic losses through abortion, reduced milk yield, infertility and culling of breeding animals, while also posing a serious risk to public health through the consumption of raw milk and dairy products and through occupational exposure. In Iran, brucellosis is endemic in many provinces, and control efforts based on vaccination, test and slaughter, and movement restrictions have achieved uneven results, particularly in rural areas where mixed herds, traditional husbandry practices and informal animal trade are common. This study determined the seroprevalence of Brucella abortus and Brucella melitensis infection in dairy cattle and small ruminants and identified associated risk factors in selected rural regions of Iran. Serum samples were collected from cattle, sheep and goats in village herds and small commercial units. Screening was performed using the Rose Bengal plate test, and positive results were confirmed by serum agglutination and complement fixation tests. A structured questionnaire administered to livestock owners collected information on herd size, species composition, breeding management, history of abortion, vaccination, introduction of new animals, contact with other herds at watering points and grazing areas, and hygiene practices. The results indicate that seropositivity was present in all study regions and was higher in small ruminants than in cattle, and higher in mixed herds than in single-species herds. Larger herd size, a previous history of abortion, the purchase of replacement animals without testing, communal grazing and the absence of regular vaccination were significantly associated with seropositivity. Awareness of the zoonotic nature of the disease among owners was limited. Implementation varied considerably. The observed patterns varied across the study sites. The study recommends strengthening vaccination coverage, improving biosecurity at herd level, regulating animal movement and expanding farmer education within a One Health framework.

Keywords: Brucellosis, Seroprevalence, Dairy cattle, Small ruminants, Risk factors, Zoonosis

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

PREVALENCE AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF ANTIMICROBIAL-RESISTANT ESCHERICHIA COLI ISOLATED FROM BROILER CHICKENS IN COMMERCIAL POULTRY FARMS OF NORTHERN IRAN

Prof. Dr. Mohammad Reza Tavakoli Nejad[1], Hossein Rahimi Nasab[1], Assist. Prof. Dr. Fatemeh Karimi Tabar[2]

[1]University of Tehran, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Poultry Diseases, Tehran, Iran

[2]Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Pathobiology, Mashhad, Iran

ABSTRACT

Antimicrobial resistance is recognised as one of the most pressing threats to human and animal health worldwide. Intensive poultry production, which often involves the use of antimicrobials for disease treatment and sometimes for growth promotion, has been identified as an important reservoir of resistant bacteria. Escherichia coli is a common inhabitant of the avian intestinal tract and a major cause of colibacillosis in broiler flocks, and resistant strains may spread to humans through the food chain, the farm environment and occupational contact. Northern Iran hosts a dense concentration of commercial poultry farms, making the region important for resistance surveillance. This study determined the prevalence of antimicrobial-resistant Escherichia coli isolated from broiler chickens in commercial poultry farms of northern Iran and characterised the isolates at the molecular level. Cloacal swabs and tissue samples were collected from flocks on farms in several districts. Isolates were identified by conventional bacteriological and biochemical methods, and susceptibility to commonly used antimicrobial agents was assessed by the disc diffusion method. Polymerase chain reaction was used to detect selected resistance determinants, including genes associated with beta-lactam, tetracycline, sulphonamide and quinolone resistance, and phylogenetic grouping was performed. Farm questionnaires recorded antimicrobial usage, biosecurity and management practices. The results indicate a high overall prevalence of resistance, with many isolates showing reduced susceptibility to several classes of antimicrobials simultaneously. Resistance determinants were frequently detected, and multidrug-resistant isolates were more common on farms reporting frequent preventive antimicrobial use and weak biosecurity. The study highlights the need for prudent antimicrobial stewardship in poultry production, improved farm hygiene and vaccination, routine resistance surveillance and veterinary oversight of antimicrobial prescribing within a One Health approach.

Keywords: Antimicrobial resistance, Escherichia coli, Broiler chickens, Molecular characterization, Antimicrobial stewardship, Iran

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

GENETIC DIVERSITY AND PHYLOGENETIC ANALYSIS OF AFRICAN SWINE FEVER VIRUS STRAINS CIRCULATING IN SMALLHOLDER PIG FARMS OF THE RED RIVER DELTA, VIETNAM

Dr. Nguyen Van Thanh[1], Tran Thi Minh Hoa[1], Prof. Dr. Le Quang Phan[2], Pham Quoc Huy[2], Vu Thi Lan Anh[1]
[1]Vietnam National University of Agriculture, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Microbiology and Infectious Diseases, Hanoi, Vietnam
[2]National Institute of Veterinary Research, Department of Virology, Hanoi, Vietnam

ABSTRACT

African swine fever is a highly contagious viral disease of domestic pigs and wild boar that causes severe losses and for which no widely available effective treatment exists. Since its introduction into Vietnam, the disease has spread rapidly through the country's pig population, affecting both large commercial units and the numerous smallholder farms that form the backbone of rural livestock production. The Red River Delta, characterised by high pig density, small household herds, local trading networks and limited biosecurity, has been particularly affected. Understanding the genetic characteristics of circulating virus strains is essential for tracing transmission pathways and for informing control and future vaccination strategies. This study examined the genetic diversity and phylogenetic relationships of African swine fever virus strains circulating in smallholder pig farms of the Red River Delta. Samples were collected from clinically affected animals during reported outbreaks, with the cooperation of local veterinary authorities. Viral DNA was detected by polymerase chain reaction, and selected genomic regions commonly used for typing were amplified and sequenced. Sequences were compared with reference strains available in public databases, and phylogenetic trees were constructed to assess relationships among local isolates. Epidemiological information on herd size, feeding practices, use of swill, animal movement and biosecurity was recorded. The findings indicate that the strains detected belonged predominantly to a single genotype closely related to viruses reported elsewhere in the region, with limited variation among local isolates, suggesting common introduction sources and ongoing local transmission. Clustering of closely related sequences corresponded to trading and movement patterns between communes. Local conditions clearly mattered. The study recommends strengthening biosecurity in smallholder systems, controlling the feeding of untreated food waste, improving movement regulation and maintaining continuous molecular surveillance.

Keywords: African swine fever, Genetic diversity, Phylogenetic analysis, Smallholder pig farming, Molecular surveillance, Vietnam

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

EFFECTS OF HERBAL FEED ADDITIVES ON GROWTH PERFORMANCE, INTESTINAL MORPHOLOGY AND IMMUNE RESPONSE IN WEANED PIGLETS UNDER TROPICAL FARMING CONDITIONS

Assoc. Prof. Dr. Do Van Duc[1], Hoang Minh Tuan[2]
[1]Vietnam National University of Agriculture, Faculty of Animal Science, Department of Animal Nutrition and Feed Technology, Hanoi, Vietnam
[2]Hue University, University of Agriculture and Forestry, Faculty of Animal Sciences and Veterinary Medicine, Hue, Vietnam

ABSTRACT

Weaning is one of the most stressful periods in pig production, frequently accompanied by reduced feed intake, impaired intestinal development, diarrhoea and depressed immune function. These problems are intensified under tropical conditions, where high temperature and humidity increase heat stress and favour the proliferation of enteric pathogens. Antimicrobial growth promoters were widely used to mitigate post-weaning disorders, but restrictions on their use, together with concerns about antimicrobial resistance and residues, have stimulated interest in natural alternatives. Herbal feed additives containing essential oils, tannins, flavonoids and other bioactive compounds have attracted attention for their potential antimicrobial, antioxidant and gut-modulating properties. This study evaluated the effects of herbal feed additives on growth performance, intestinal morphology and immune response in weaned piglets under tropical farming conditions in Vietnam. A feeding trial was conducted on a commercial farm using weaned piglets allocated to dietary treatments comprising a basal diet, the basal diet supplemented with a herbal mixture at different inclusion levels, and a positive control. Growth performance was monitored through feed intake, weight gain and feed conversion, and the incidence of diarrhoea was recorded. At the end of the trial, intestinal samples were examined histologically to assess villus height, crypt depth and their ratio, while blood samples were analysed for selected immune and antioxidant indicators. The results indicate that herbal supplementation improved weight gain and feed efficiency, reduced the occurrence of diarrhoea and was associated with greater villus height and improved villus to crypt ratio in the small intestine. Immune and antioxidant indicators were enhanced relative to the unsupplemented diet. Documentation of local knowledge was identified as a clear priority. The study concludes that herbal additives offer a practical alternative for supporting piglet health and recommends further work on dose optimisation and cost effectiveness.

Keywords: Herbal feed additives, Weaned piglets, Growth performance, Intestinal morphology, Immune response, Tropical conditions

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

DETECTION OF HIGHLY PATHOGENIC AVIAN INFLUENZA H5N1 VIRUS IN BACKYARD POULTRY AND LIVE BIRD MARKETS IN WEST JAVA, INDONESIA: A ONE HEALTH SURVEILLANCE APPROACH

Prof. Dr. Bambang Wahyu Santoso[1], Dr. Agus Setiawan Prakoso[1], Rini Kusumawati[2], Dewi Anggraini Putri[2], Muhammad Fajar Hidayat[1]
[1]IPB University, School of Veterinary Medicine and Biomedical Sciences, Division of Veterinary Public Health and Epidemiology, Bogor, Indonesia
[2]Universitas Airlangga, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Public Health, Surabaya, Indonesia

ABSTRACT

Highly pathogenic avian influenza of the H5N1 subtype has circulated in Indonesia for many years, causing severe losses in the poultry sector and sporadic human infections associated with close contact with infected birds. Backyard poultry flocks and live bird markets play a central role in the epidemiology of the disease, as they bring together birds of different species, ages and origins under conditions of limited biosecurity, creating opportunities for virus amplification and transmission to people. Surveillance that integrates animal health, human health and environmental considerations is therefore essential for early detection and risk reduction. This study applied a One Health surveillance approach to detect highly pathogenic avian influenza H5N1 virus in backyard poultry and live bird markets in West Java. Cloacal and oropharyngeal swabs were collected from chickens, ducks and other poultry species in village flocks and market stalls, together with environmental swabs from cages, slaughter areas and drainage surfaces. Samples were screened by real-time reverse transcription polymerase chain reaction for influenza A and subtyped accordingly. Questionnaires and observations recorded husbandry practices, market hygiene, bird sourcing and the use of personal protective measures by traders and slaughter workers. The findings clearly indicate that virus detection was more frequent in market environments than in village flocks, with ducks and environmental surfaces representing important sources of contamination. Mixing of species, continuous restocking, absence of market rest days and inadequate cleaning were associated with higher detection. Awareness of zoonotic risk among traders was limited, and protective equipment was rarely used. The study recommends regular market disinfection and rest days, species separation, improved waste management, continuous integrated surveillance and risk communication for traders and poultry keepers.

Keywords: Avian influenza, H5N1, Live bird markets, Backyard poultry, One Health surveillance, Indonesia

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

CLINICAL, HAEMATOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ALTERATIONS IN BALI CATTLE NATURALLY INFECTED WITH TRYPANOSOMA EVANSI IN EAST NUSA TENGGARA PROVINCE

Gusti Ngurah Kade Wiratama[1], Assist. Prof. Dr. Ni Made Suwitri[1], Yohanes Kristianto Lado[2], Ketut Budiasa[1]

[1]Universitas Udayana, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Clinical Pathology, Denpasar, Bali, Indonesia

[2]Universitas Nusa Cendana, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Clinic, Reproduction and Pathology, Kupang, Indonesia

ABSTRACT

Surra, caused by the protozoan parasite Trypanosoma evansi and transmitted mechanically by biting flies, is an important disease of livestock in tropical regions of Asia. In eastern Indonesia, Bali cattle are a major component of smallholder farming and a key source of income, draught power and savings for rural households. Outbreaks of surra have caused significant losses in the region, and the disease is often characterised by fever, progressive weakness, anaemia, oedema, reproductive problems and, in severe cases, death. Clear documentation of clinical and laboratory changes in naturally infected animals supports early recognition, accurate diagnosis and appropriate treatment under field conditions. This study investigated clinical, haematological and biochemical alterations in Bali cattle naturally infected with Trypanosoma evansi in East Nusa Tenggara Province. Cattle kept under extensive and semi-extensive management in affected districts were examined clinically, and blood samples were collected. Infection was confirmed by microscopic examination of wet smears and stained blood films, supported by serological and molecular confirmation where available. Haematological parameters, including red blood cell indices, packed cell volume, haemoglobin concentration and leucocyte counts, were measured, together with biochemical indicators of liver and kidney function, total protein and glucose. Infected animals were compared with apparently healthy cattle from the same areas. The findings clearly show that infected cattle commonly presented with intermittent fever, pale mucous membranes, lethargy, loss of body condition and in some cases subcutaneous oedema. Laboratory analysis revealed reduced erythrocyte indices consistent with anaemia, altered leucocyte profiles, decreased total protein and glucose and changes in enzymes associated with liver function. The study therefore recommends integrated vector control, early parasitological screening and prompt treatment to limit production losses in smallholder herds.

Keywords: Trypanosoma evansi, Surra, Bali cattle, Haematology, Clinical pathology, East Nusa Tenggara

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF MORINGA OLEIFERA LEAF EXTRACT AGAINST STAPHYLOCOCCUS AUREUS ISOLATED FROM SUBCLINICAL MASTITIS CASES IN DAIRY GOATS

Dr. Ratna Sari Wijayanti[1], Hendra Gunawan[2]
[1]Universitas Gadjah Mada, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Internal Medicine, Yogyakarta, Indonesia
[2]Universitas Brawijaya, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Pharmacology, Malang, Indonesia

ABSTRACT

Subclinical mastitis is a widespread and economically significant problem in dairy goat production, reducing milk yield and quality without producing visible signs of inflammation. Staphylococcus aureus is among the most frequently isolated pathogens and is of particular concern because of its ability to persist in the udder and to develop resistance to commonly used antimicrobial agents. Growing restrictions on antimicrobial use in food-producing animals, together with concerns about residues in milk, have increased interest in plant-derived alternatives. Moringa oleifera, widely cultivated in tropical regions, contains bioactive compounds such as flavonoids, phenolics, glucosinolates and isothiocyanates that have been associated with antibacterial and antioxidant properties. This study evaluated the antibacterial activity of Moringa oleifera leaf extract against Staphylococcus aureus isolated from subclinical mastitis cases in dairy goats. Milk samples were collected from lactating goats on smallholder farms, and subclinical mastitis was identified using the California mastitis test and somatic cell assessment. Bacterial isolation and identification were performed using standard microbiological methods. Leaf extracts were prepared by maceration with solvents of differing polarity, and antibacterial activity was assessed in vitro by the agar well diffusion method, with determination of minimum inhibitory and minimum bactericidal concentrations. Conventional antimicrobial agents were included for comparison, and phytochemical screening characterised the extracts. The results indicate that the extracts produced concentration-dependent inhibition of the isolates, with ethanolic preparations showing the strongest activity, and the observed inhibition zones were comparable with those of some conventional agents at higher extract concentrations. Phytochemical screening confirmed the presence of flavonoids, tannins and phenolic compounds. Implementation varied considerably. Documentation of local knowledge was identified as a clear priority. The study concludes that Moringa oleifera leaf extract shows promise as a supportive option for mastitis management and recommends in vivo evaluation of safety, efficacy and effects on milk quality.

Keywords: Moringa oleifera, Antibacterial activity, Staphylococcus aureus, Subclinical mastitis, Dairy goats, Phytotherapy

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ASSESSING THE LONG-TERM IMPACTS OF OPEN-PIT COPPER MINING ON FOREST COVER, SOIL QUALITY AND VEGETATION DIVERSITY IN THE ZAGROS OAK FORESTS OF WESTERN IRAN USING MULTI-TEMPORAL SATELLITE IMAGERY

Prof. Dr. Mohammad Reza Karimi[1], Ali Asghar Rahmani[1], Dr. Fatemeh Hosseinzadeh[2]
[1]University of Tehran, Faculty of Natural Resources, Department of Forestry and Forest Economics, Karaj, Iran
[2]Razi University, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Department of Rangeland and Watershed Management, Kermanshah, Iran

ABSTRACT

The Zagros oak forests of western Iran constitute one of the most extensive semi-arid forest ecosystems of the Middle East, providing habitat for endemic species, regulating water supply for downstream agriculture and sustaining the livelihoods of local communities. These forests are increasingly threatened by the expansion of open-pit copper mining, which removes vegetation, alters soil structure, generates dust and waste rock and disturbs hydrological regimes. Because mining impacts accumulate over decades and extend well beyond concession boundaries, their assessment requires a long-term and spatially explicit perspective. This study assessed the long-term impacts of open-pit copper mining on forest cover, soil quality and vegetation diversity in selected mining districts of the Zagros region. Multi-temporal satellite imagery spanning several decades was used to map changes in forest cover and to calculate vegetation indices along gradients of distance from active and abandoned pits. Field sampling complemented the remote sensing analysis, with soil samples analysed for texture, organic matter, acidity, electrical conductivity and copper and other metal concentrations, while vegetation plots recorded species composition, richness and regeneration of oak. The results indicate progressive loss of forest canopy within and around mining sites, with degradation extending into surrounding stands through access roads, settlements and fuelwood collection. Soils near waste dumps showed reduced organic matter, compaction and elevated metal concentrations, which were associated with poor oak seedling establishment. Vegetation diversity declined markedly in disturbed areas, where ruderal and grazing-tolerant species replaced characteristic forest understorey plants. Recovery in abandoned sites was slow and incomplete without intervention. Documentation of local knowledge was identified as a clear priority. The study recommends integrating ecological baselines into mine licensing, enforcing progressive rehabilitation with native species and establishing buffer zones and long-term monitoring around mining concessions in these vulnerable oak forests.

Keywords: Open-pit mining, Zagros oak forests, Forest cover change, Soil degradation, Vegetation diversity, Remote sensing

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

A GIS-BASED MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING FRAMEWORK FOR PRIORITIZING THE ECOLOGICAL RESTORATION OF ABANDONED IRON ORE MINES WITHIN THE HYRCANIAN FORESTS OF NORTHERN IRAN

Assoc. Prof. Dr. Hamid Reza Mousavi[1]
[1]Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Faculty of Natural Resources, Department of Forestry, Sari, Iran

ABSTRACT

The Hyrcanian forests along the southern coast of the Caspian Sea are among the oldest broadleaf forests in the world and are recognised for their exceptional biodiversity and endemism. Decades of mineral extraction have left numerous abandoned iron ore mines scattered within and adjacent to these forests, where exposed waste dumps, degraded soils, destabilised slopes and disrupted drainage continue to affect ecosystems long after operations cease. Restoration resources are limited, so decisions about where to intervene first must balance ecological value, degradation severity, restoration feasibility and social considerations. This study developed and applied a geographic information system based multi-criteria decision-making framework for prioritising the ecological restoration of abandoned iron ore mines in the Hyrcanian region. Criteria were selected through expert consultation with forest ecologists, mining engineers, hydrologists and provincial natural resource managers, and included proximity to protected areas and old-growth stands, slope stability and erosion risk, soil contamination, water resource sensitivity, connectivity to intact forest, accessibility and the presence of nearby settlements. Criteria weights were derived using the analytic hierarchy process, and spatial layers prepared from satellite imagery, digital elevation models, soil surveys and field verification were combined through weighted overlay analysis to generate restoration priority maps. Sensitivity analysis examined the stability of the resulting rankings. The findings show that a limited number of abandoned sites, located on steep slopes near sensitive watercourses and adjacent to high-conservation-value stands, account for a disproportionate share of ecological risk and therefore merit immediate intervention. Accessibility and community proximity strongly influenced feasibility rankings. The framework proved transparent, repeatable and adaptable to new data. Implementation varied considerably. The observed patterns varied across the study sites. The study recommends adopting such spatial prioritisation tools within provincial restoration planning and linking them to mine closure obligations and funding mechanisms.

Keywords: Ecological restoration, Abandoned mines, Multi-criteria decision-making, Analytic hierarchy process, Hyrcanian forests, GIS

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

EVALUATING THE EFFECTS OF BAUXITE MINING ON DEFORESTATION, WATERSHED HYDROLOGY AND LIVELIHOODS OF INDIGENOUS COMMUNITIES IN THE CENTRAL HIGHLANDS OF VIETNAM

Nguyen Van Thanh[1], Dr. Tran Thi Mai Huong[1], Le Quang Minh[2], Assist. Prof. Dr. Pham Duc Anh[2], Hoang Thi Lan[1]

[1]Vietnam National University of Forestry, Faculty of Forest Resources and Environmental Management, Hanoi, Vietnam

[2]Tay Nguyen University, Faculty of Agriculture and Forestry, Buon Ma Thuot, Vietnam

ABSTRACT

The Central Highlands of Vietnam hold substantial bauxite reserves beneath landscapes that also support remaining natural forests, coffee and pepper cultivation and the customary territories of indigenous ethnic minority communities. The expansion of bauxite extraction and alumina processing has raised concerns about forest clearance, disturbance of catchment hydrology, red mud storage and the displacement of traditional land uses. Evaluating these effects together is essential, because changes in forest cover, water availability and livelihoods are closely interconnected in this region. This study evaluated the effects of bauxite mining on deforestation, watershed hydrology and the livelihoods of indigenous communities in selected districts of Dak Nong and Lam Dong provinces. A mixed-methods design combined remote sensing analysis of forest cover change, hydrological monitoring of streamflow, sediment load and water quality in affected and comparison catchments, and household surveys and participatory discussions with Mnong, Ede and Ma communities, local officials and company representatives. The results clearly indicate that forest loss within concession areas was substantial and was accompanied by indirect clearance along new roads and in resettlement areas. Affected catchments showed increased sediment transport, more pronounced seasonal flow variability and declining dry-season water availability for household use and irrigation. Households reported reduced access to swidden land, non-timber forest products and grazing areas, while compensation payments and employment opportunities were unevenly distributed and often short-term. Younger community members moved toward wage labour, weakening customary land management. Women reported particular difficulty in replacing income from forest gathering. The study therefore recommends strengthening environmental impact assessment with cumulative watershed analysis, securing customary land rights in licensing procedures, establishing community-based water monitoring and designing benefit-sharing and rehabilitation schemes that reflect indigenous livelihood priorities.

Keywords: Bauxite mining, Deforestation, Watershed hydrology, Indigenous livelihoods, Central Highlands, Vietnam

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

HEAVY METAL ACCUMULATION IN NATIVE TREE SPECIES AND THEIR POTENTIAL FOR PHYTOREMEDIATION OF COAL MINE SPOIL DUMPS IN QUANG NINH PROVINCE, VIETNAM

Prof. Dr. Vu Minh Tuan[1], Do Thi Thu Trang[2]
[1]Vietnam National University of Forestry, Faculty of Silviculture, Department of Forest Soil Science and Ecology, Hanoi, Vietnam
[2]Hanoi University of Mining and Geology, Faculty of Environment, Department of Environmental Engineering, Hanoi, Vietnam

ABSTRACT

Quang Ninh province is the centre of coal production in Vietnam, and decades of open-cast extraction have produced extensive spoil dumps composed of waste rock and overburden. These substrates are typically compacted, low in organic matter and nutrients, acidic and enriched in metals such as lead, zinc, cadmium, copper and arsenic, which may be mobilised into surrounding soils, streams and coastal waters. Revegetation with native trees offers a means of stabilising these dumps while gradually improving soil conditions, and some species can additionally accumulate or immobilise metals in their tissues. This study examined heavy metal accumulation in native tree species growing on coal mine spoil dumps in Quang Ninh and assessed their potential for phytoremediation. Field surveys identified naturally colonising and planted species on dumps of differing ages, and paired samples of substrate, roots, stems and leaves were collected and analysed for metal concentrations. Bioconcentration and translocation factors were calculated for each species, alongside measurements of growth, survival and substrate properties including acidity, organic carbon and available nutrients. The results show marked differences among species in metal uptake and allocation. Several species accumulated metals predominantly in roots with limited transfer to shoots, indicating suitability for stabilisation of contaminated substrates, whereas others translocated metals to aboveground tissues and showed promise for extraction on less toxic materials. Species that combined vigorous growth, deep rooting and nitrogen fixation improved substrate organic matter and supported the establishment of understorey vegetation. Survival was strongly influenced by substrate acidity and compaction. Implementation varied considerably. The study recommends species mixtures matched to substrate conditions, combined with amendments such as organic matter and lime, and sustained monitoring of metal transfer into food chains near rehabilitated dumps.

Keywords: Heavy metals, Phytoremediation, Native tree species, Coal mine spoil, Mine rehabilitation, Quang Ninh

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF TROPICAL RAINFOREST LOSS DRIVEN BY NICKEL MINING EXPANSION IN SULAWESI, INDONESIA: IMPLICATIONS FOR BIODIVERSITY CONSERVATION AND SUSTAINABLE LAND-USE POLICY

Dr. Budi Santoso[1], Siti Rahmawati[1], Assoc. Prof. Dr. Agus Wijaya[2], Dewi Lestari[2]
[1]Hasanuddin University, Faculty of Forestry, Department of Forest Management, Makassar, Indonesia
[2]IPB University, Faculty of Forestry and Environment, Department of Forest Resources Conservation and Ecotourism, Bogor, Indonesia

ABSTRACT

Sulawesi holds globally significant nickel reserves and has become a focus of rapid mining and smelting development linked to demand for battery materials. The island is also a distinct biogeographic region with exceptionally high levels of endemism among mammals, birds, reptiles and plants, much of which depends on lowland and ultramafic forest that coincides with the most valuable ore bodies. Understanding where and how quickly forest is being lost, and how this loss relates to conservation priorities, is therefore crucial for land-use decisions. This study analysed the spatio-temporal pattern of tropical rainforest loss driven by nickel mining expansion in Sulawesi and examined the implications for biodiversity conservation and land-use policy. Time series of satellite imagery were used to map annual forest loss across mining districts, and change detection results were combined in a geographic information system with concession boundaries, protected area networks, ultramafic soil distribution, habitat suitability models for selected endemic species, road networks and smelter locations. Landscape metrics quantified fragmentation, and spatial regression explored the association between forest loss and accessibility, concession status and processing capacity. The findings reveal accelerating forest loss concentrated around expanding pits, haul roads and industrial estates, with substantial encroachment into areas designated as production forest and pressure on the margins of protected areas. Fragmentation increased sharply, isolating remaining habitat patches on ultramafic substrates that support restricted-range species. Forest loss was strongly associated with proximity to new processing facilities. Forest loss also extended into mangrove and coastal zones near export terminals. Longer-term monitoring would further strengthen the conclusions drawn here. The study recommends spatially explicit limits on concession expansion in high-endemism landscapes, strengthened enforcement of protected area boundaries, mandatory landscape-level offsets and the incorporation of cumulative impact assessment into provincial spatial planning.

Keywords: Nickel mining, Rainforest loss, Spatio-temporal analysis, Habitat fragmentation, Endemic species, Sulawesi

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

POST-MINING LAND RECLAMATION SUCCESS IN EAST KALIMANTAN COAL CONCESSIONS: A COMPARATIVE ASSESSMENT OF SOIL PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES, VEGETATION RECOVERY AND CARBON SEQUESTRATION POTENTIAL

Prof. Dr. Hendra Kurniawan[1], Rina Puspitasari[1], Dr. Eko Prasetyo[2], Ahmad Fauzi[2], Assist. Prof. Dr. Nur Aini Hidayati[1], Yusuf Maulana[2]

[1]Mulawarman University, Faculty of Forestry, Department of Silviculture, Samarinda, Indonesia

[2]Gadjah Mada University, Faculty of Forestry, Department of Silviculture, Yogyakarta, Indonesia

ABSTRACT

East Kalimantan is one of the principal coal producing regions of Indonesia, and mining regulations require concession holders to reclaim disturbed land after extraction. Reclamation typically involves backfilling, spreading of topsoil and planting of fast-growing trees, yet outcomes vary considerably between sites and companies. Reliable assessment of reclamation success is essential, both for regulatory oversight and for understanding whether rehabilitated land can recover ecological functions such as soil fertility, biodiversity and carbon storage. This study provided a comparative assessment of post-mining reclamation success in coal concessions of East Kalimantan, focusing on soil physicochemical properties, vegetation recovery and carbon sequestration potential. Reclaimed sites of differing ages were compared with unreclaimed spoil and with adjacent secondary forest serving as a reference. Soil sampling characterised bulk density, texture, acidity, organic carbon, nitrogen, available phosphorus and exchangeable bases, while vegetation surveys recorded planted and naturally regenerating species, stand structure, basal area and understorey composition. Biomass and carbon stocks were estimated using allometric equations, and management records and interviews with site managers documented reclamation practices. The results show gradual improvement in soil organic carbon, nutrient availability and structure with time since reclamation, although bulk density remained higher and nutrient status lower than in reference forest. Vegetation recovery depended strongly on species selection, topsoil handling and maintenance intensity, with sites using diverse native species and adequate topsoil showing greater natural regeneration and understorey development. Carbon stocks accumulated steadily but remained well below reference levels. Earthworm and ground vegetation returned only where litter layers had begun to form, which indicated slow but genuine ecological progress. The approach proved transferable to comparable settings elsewhere in the wider region. The study recommends mandatory topsoil conservation, use of native species mixtures, extended maintenance and monitoring obligations, and the adoption of standardised ecological indicators for evaluating reclamation performance.

Keywords: Post-mining reclamation, Soil properties, Vegetation recovery, Carbon sequestration, Coal mining, East Kalimantan

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

THE ROLE OF ARTISANAL AND SMALL-SCALE GOLD MINING IN MERCURY CONTAMINATION OF PEAT SWAMP FORESTS AND RIVER ECOSYSTEMS IN CENTRAL KALIMANTAN, INDONESIA

Assoc. Prof. Dr. Retno Wulandari[1]
[1]University of Palangka Raya, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Environmental Management, Palangka Raya, Indonesia

ABSTRACT

Artisanal and small-scale gold mining is widespread along the rivers and peatlands of Central Kalimantan, where it provides income for many rural households but relies heavily on mercury amalgamation to recover fine gold. Mercury released during amalgamation and burning enters sediments, water and air, and in peat swamp environments with abundant organic matter and anoxic conditions it may be transformed into methylmercury, which accumulates in aquatic food chains. These landscapes are also globally important carbon stores and sources of fish protein for local communities, making contamination a combined ecological and public health concern. This study examined the role of artisanal and small-scale gold mining in mercury contamination of peat swamp forests and river ecosystems in Central Kalimantan. Sampling was conducted along river reaches and adjacent peatlands subject to differing mining intensity, with analysis of total mercury and methylmercury in water, sediment, peat soil and fish tissue, alongside measurements of acidity, dissolved organic carbon and suspended solids. Interviews and field observation documented mining techniques, processing practices and community perceptions of risk. The findings show elevated mercury concentrations in sediments and peat near active and formerly mined reaches, with methylmercury proportions highest in waterlogged organic substrates. Mercury levels in predatory fish species frequently consumed by local households were of concern, and contamination extended downstream of mining sites. Miners reported limited awareness of health risks and little access to mercury-free processing technology. Deforestation and peat disturbance associated with mining further increased sediment and mercury mobilisation. Children and women involved in panning and ore processing were among the most exposed, and mercury vapour affected households living beside processing sheds. The observed patterns varied across the study sites. The study recommends promoting mercury-free gravimetric processing, formalising and supporting small-scale miners, monitoring fish consumption risks and integrating mining regulation with peatland restoration and community health programmes.

Keywords: Artisanal gold mining, Mercury contamination, Methylmercury, Peat swamp forest, River ecosystems, Central Kalimantan

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

APPLICATION OF UAV-BASED LIDAR AND MACHINE LEARNING FOR MONITORING FOREST CANOPY REGENERATION ON REHABILITATED TIN MINING LANDS IN PERAK, MALAYSIA

Dr. Ahmad Faizal Rahman[1], Nurul Izzah Abdullah[2]
[1]Universiti Putra Malaysia, Faculty of Forestry and Environment, Department of Forest Science and Biodiversity, Serdang, Selangor, Malaysia
[2]Universiti Teknologi Malaysia, Faculty of Built Environment and Surveying, Department of Geoinformation, Johor Bahru, Malaysia

ABSTRACT

Perak has a long history of tin mining that left behind extensive areas of sand tailings, mining pools and degraded land, much of which has since been subject to rehabilitation through tree planting and natural succession. Evaluating whether canopy structure is genuinely recovering on these substrates is difficult using conventional field inventory alone, because rehabilitated areas are often fragmented, structurally irregular and costly to survey. Unmanned aerial vehicle based light detection and ranging offers detailed three-dimensional measurement of canopy structure at fine spatial resolution, and machine learning methods can relate these measurements to ecological condition. This study applied unmanned aerial vehicle based lidar together with machine learning to monitor forest canopy regeneration on rehabilitated tin mining lands in Perak. Lidar surveys were flown over rehabilitated sites of differing ages, unrehabilitated tailings and nearby reference forest, and point clouds were processed to derive canopy height models, canopy cover, vertical structural complexity, gap distribution and estimates of aboveground biomass. Field plots provided species composition, stem measurements and soil data for calibration and validation. Random forest and gradient boosting models were trained to classify regeneration stages and to predict biomass and structural attributes from lidar metrics. The results indicate that lidar metrics discriminated regeneration stages accurately and captured structural differences invisible to two-dimensional imagery, including persistent gaps and suppressed growth on coarse tailings. Predicted biomass agreed closely with field estimates. Canopy development was strongly associated with substrate texture, organic matter and planting design. Flight planning under frequent cloud cover and equipment costs remained practical constraints, so shared regional survey services would help. The approach proved transferable to comparable settings elsewhere in the wider region. The study recommends incorporating periodic drone lidar surveys into rehabilitation monitoring requirements, using structural indicators alongside survival counts, and targeting soil amelioration where canopy development remains arrested.

Keywords: UAV lidar, Machine learning, Canopy regeneration, Mine rehabilitation, Tin tailings, Perak

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

A HYBRID DEEP LEARNING FRAMEWORK FOR REAL-TIME ANOMALY DETECTION IN INDUSTRIAL IOT NETWORKS USING TEMPORAL CONVOLUTIONAL AND GRAPH NEURAL ARCHITECTURES

Prof. Dr. Shukhrat Karimov[1], Dilnoza Rakhimova[1], Assoc. Prof. Dr. Bekzod Tursunov[2]
[1]Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Faculty of Computer Engineering, Department of Computer Systems, Tashkent, Uzbekistan
[2]Turin Polytechnic University in Tashkent, Faculty of Engineering, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

Industrial internet of things deployments connect sensors, controllers and actuators across manufacturing lines, energy facilities and water treatment plants, generating continuous streams of measurements that reflect both normal operation and emerging faults. Detecting anomalies in these streams is essential for preventing equipment failure, production losses and safety incidents, yet the task is difficult because industrial signals are noisy, strongly correlated across devices and subject to gradual drift as machines age. Classical statistical methods and shallow learning models often fail to capture the combination of temporal dependencies and spatial relationships that characterise such networks, while many deep learning approaches are too computationally demanding for deployment close to the production floor. This study proposed and evaluated a hybrid deep learning framework that combines temporal convolutional networks with graph neural architectures for real-time anomaly detection in industrial internet of things environments. The temporal component extracts multi-scale patterns from individual sensor series through dilated causal convolutions, while the graph component models dependencies between devices using a learned adjacency structure derived from sensor correlations and process topology. The framework was trained in a semi-supervised manner on normal operating data and evaluated on publicly available industrial testbed datasets as well as measurements collected from a regional manufacturing facility. Performance was assessed in terms of detection accuracy, false alarm rate, detection delay and inference latency on edge hardware. The results indicate that the hybrid architecture detects both abrupt faults and slowly developing degradation more reliably than purely recurrent, convolutional or autoencoder baselines, and that modelling inter-device relationships reduces false alarms substantially. Inference latency remained compatible with real-time monitoring requirements on modest edge devices. Implementation varied considerably. Documentation of local knowledge was identified as a clear priority. The study recommends integrating topology-aware learning into industrial monitoring platforms and establishing procedures for periodic model retraining under process drift.

Keywords: Industrial internet of things, Anomaly detection, Temporal convolutional networks, Graph neural networks, Edge computing, Predictive maintenance

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

A LIGHTWEIGHT POST-QUANTUM CRYPTOGRAPHIC PROTOCOL FOR SECURE FIRMWARE UPDATES IN RESOURCE-CONSTRAINED EMBEDDED SYSTEMS: DESIGN, FPGA IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE EVALUATION

Prof. Dr. Gábor Kovács[1], Dr. Eszter Nagy[1], Balázs Szabó[2], Assoc. Prof. Dr. Zsolt Horváth[2], Réka Tóth[1]
[1]Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Department of Networked Systems and Services, Budapest, Hungary
[2]University of Debrecen, Faculty of Informatics, Department of Information Technology, Debrecen, Hungary

ABSTRACT

Embedded devices deployed in industrial control, automotive electronics, metering and consumer products rely on firmware updates to correct defects and close security gaps throughout their operational lifetime. The authenticity and integrity of these updates are usually protected by digital signatures based on elliptic curve or Rivest-Shamir-Adleman cryptography, which are expected to become vulnerable once sufficiently capable quantum computers emerge. Because many embedded platforms remain in service for a decade or longer, migration toward post-quantum algorithms has become an urgent engineering concern. The principal obstacle is that standardised post-quantum schemes impose considerably larger keys, signatures and memory footprints than classical primitives, which is problematic for microcontrollers with limited flash memory, random access memory and energy budgets. This study presented the design, hardware implementation and evaluation of a lightweight post-quantum cryptographic protocol for secure firmware updates in resource-constrained embedded systems. The protocol combines a lattice-based signature scheme for update authentication with a key encapsulation mechanism for session establishment, and it introduces incremental verification of firmware blocks so that devices with small memory can authenticate images without buffering them entirely. A reference implementation was developed and synthesised on a field-programmable gate array platform, with a companion software version for a representative microcontroller. Evaluation covered signature verification time, resource utilisation, energy consumption, update transfer overhead and resilience against interrupted or rolled-back updates. The results indicate that hardware acceleration of polynomial arithmetic reduces verification time to levels acceptable for field deployment, while block-wise verification keeps memory requirements modest. Energy measurements suggest that the additional cost relative to elliptic curve verification remains tolerable for mains-powered and periodically charged devices. Results remained stable under alternative analytical specifications. The study recommends staged migration strategies and hybrid signature modes during the transition period.

Keywords: Post-quantum cryptography, Secure firmware update, Embedded systems, Lattice-based signatures, FPGA implementation, Hardware acceleration

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ENERGY-EFFICIENT TASK SCHEDULING IN HETEROGENEOUS EDGE-CLOUD ENVIRONMENTS BASED ON MULTI-OBJECTIVE REINFORCEMENT LEARNING FOR SMART AGRICULTURE APPLICATIONS IN CENTRAL ASIA

Assis. Prof. Dr. Jasur Normatov[1]
[1]Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Faculty of Electronics and Automation, Department of Information Processing Systems, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

Smart agriculture applications in Central Asia increasingly rely on distributed computing infrastructures that span field sensors, gateways, local servers and remote cloud platforms. Workloads such as irrigation scheduling, soil moisture forecasting, pest detection from field imagery and livestock monitoring differ widely in latency sensitivity, data volume and computational intensity. Deciding where each task should execute is therefore a central design question, particularly in rural settings where network connectivity is intermittent, electricity supply may be unreliable and many gateways operate on solar power. Scheduling policies must balance responsiveness against energy consumption, while also respecting limited bandwidth and the heterogeneity of available processors. This study developed and evaluated an energy-efficient task scheduling approach for heterogeneous edge and cloud environments using multi-objective reinforcement learning, with smart agriculture workloads in arid and semi-arid regions as the application context. The scheduling problem was formulated as a sequential decision process in which an agent assigns incoming tasks to computing nodes based on observed queue states, link quality, battery levels and task characteristics. A multi-objective formulation with scalarised and Pareto-based reward structures was used to trade off energy use, completion time and deadline violations. The approach was evaluated through simulation calibrated with measurements from a small testbed comprising single-board gateways, a local server and a public cloud instance. The results indicate that the learned policies reduce energy consumption appreciably compared with threshold-based and heuristic schedulers while maintaining comparable deadline satisfaction, and that they adapt effectively to fluctuating connectivity and solar charging cycles. Policies trained with explicit energy objectives offloaded fewer tasks during periods of weak connectivity. Implementation varied considerably. The observed patterns varied across the study sites. The study recommends integrating battery-aware scheduling into agricultural monitoring platforms and validating learned policies over full growing seasons before wide deployment.

Keywords: Edge computing, Task scheduling, Reinforcement learning, Energy efficiency, Smart agriculture, Multi-objective optimisation

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

FORMAL VERIFICATION OF SAFETY-CRITICAL AUTOMOTIVE SOFTWARE COMPONENTS USING MODEL CHECKING AND STATIC ANALYSIS TECHNIQUES IN AUTOSAR-COMPLIANT ARCHITECTURES

Dr. Péter Varga[1], Anna Kiss[2]
[1]Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering, Department of Automotive Technologies, Budapest, Hungary
[2]Széchenyi István University, Audi Hungaria Faculty of Automotive Engineering, Department of Vehicle Manufacturing, Győr, Hungary

ABSTRACT

Modern vehicles contain a large number of electronic control units executing software that governs braking, steering assistance, powertrain management and driver assistance functions. Faults in such software can have severe safety consequences, and functional safety standards for road vehicles require rigorous evidence that safety requirements are satisfied at the highest integrity levels. Testing alone cannot demonstrate the absence of defects in concurrent, state-rich software, which has motivated interest in formal methods. At the same time, industrial adoption remains limited by concerns about scalability, tool qualification, modelling effort and the integration of verification activities into established development processes based on standardised automotive software architectures. This study examined the application of model checking and static analysis techniques to the formal verification of safety-critical software components within architectures compliant with the open automotive software architecture standard. Representative components, including a watchdog supervision module, a sensor plausibility checker and an arbitration component for actuator requests, were modelled and verified against safety requirements expressed in temporal logic. Abstraction, assume-guarantee reasoning and bounded verification were applied to manage state space growth, while abstract interpretation and sound static analysis addressed runtime errors, arithmetic overflow and memory safety in the production source code. Verification effort, defect detection capability and integration cost were documented throughout. The results indicate that model checking identified subtle concurrency and timing-related defects that had escaped extensive testing, particularly in interactions between the runtime environment and application tasks, while static analysis proved effective and economical for undefined behaviour. Modelling effort and the interpretation of counterexamples were the main practical obstacles. Regional differences were clearly evident. The study recommends combining both techniques within a staged verification strategy, developing reusable component contracts and training engineers in specification writing.

Keywords: Formal verification, Model checking, Static analysis, Automotive software, Functional safety, AUTOSAR

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

A TRANSFORMER-BASED APPROACH FOR BANGLA HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION WITH DATA AUGMENTATION AND TRANSFER LEARNING ON LOW-RESOURCE DATASETS

Nusrat Jahan[1], Tanvir Ahmed Chowdhury[1], Assis. Prof. Dr. Farhana Sultana[2], Md. Mahmudul Hasan[2], Sadia Afrin[1]

[1]Bangladesh University of Engineering and Technology, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Department of Computer Science and Engineering, Dhaka, Bangladesh

[2]Shahjalal University of Science and Technology, School of Applied Sciences and Technology, Department of Computer Science and Engineering, Sylhet, Bangladesh

ABSTRACT

Bangla is among the most widely spoken languages in the world, yet automatic recognition of Bangla handwriting remains considerably less mature than recognition of Latin or Chinese script. The writing system combines a large set of basic characters with numerous compound characters, diacritical marks and a connecting headline, and many character pairs differ only in small strokes. Handwriting styles vary substantially across writers and regions, and publicly available annotated datasets are modest in size compared with those used to train recognition systems for high-resource languages. These conditions make Bangla handwritten character recognition a representative low-resource vision problem of practical importance for digitising historical records, postal processing, educational assessment and administrative forms. This study proposed a transformer-based approach for Bangla handwritten character recognition that addresses data scarcity through systematic augmentation and transfer learning. Character images were encoded with a vision transformer backbone initialised from weights pretrained on large-scale natural image collections and subsequently fine-tuned on Bangla handwriting corpora. Augmentation combined elastic deformation, stroke thickness variation, controlled rotation, random erasing and synthetic generation of compound characters from basic forms. Training used label smoothing and layer-wise learning rate decay, and performance was compared against convolutional baselines under identical data budgets. Evaluation covered recognition accuracy, confusion between visually similar compound characters, robustness to writer variation and behaviour under progressively reduced training sets. The results indicate that pretrained transformer representations transfer effectively to Bangla script and outperform convolutional baselines, with the advantage widening as training data decrease. Augmentation targeting stroke-level variation contributed most to the gains, while residual errors concentrated in compound characters sharing common components. Seasonal conditions strongly influenced the outcomes. The study recommends expanding community annotation efforts and releasing writer-disjoint evaluation splits for fair comparison.

Keywords: Bangla handwriting, Character recognition, Vision transformer, Transfer learning, Data augmentation, Low-resource languages

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A LOW-COST IOT-BASED FLOOD EARLY WARNING SYSTEM USING LORAWAN SENSOR NETWORKS AND MACHINE LEARNING PREDICTION MODELS FOR RIVERINE REGIONS OF BANGLADESH

Assoc. Prof. Dr. Kamrul Hassan[1], Dr. Shirin Akter[1], Arifur Rahman[2], Mehedi Hasan Rony[2]

[1]Bangladesh University of Engineering and Technology, Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering, Dhaka, Bangladesh
[2]Rajshahi University of Engineering and Technology, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Rajshahi, Bangladesh

ABSTRACT

Bangladesh is among the countries most exposed to riverine flooding, with large populations living along the Brahmaputra, Ganges and Meghna systems and their tributaries. Flooding disrupts agriculture, housing, schooling and transport every monsoon season, and the time available between the onset of upstream rainfall and inundation of settlements is often short. National forecasting services provide valuable regional guidance, but communities frequently lack localised information about expected water levels at specific villages and crossings. Dense monitoring is constrained by the cost of conventional hydrological stations, limited electricity supply and the fragility of equipment in floodplains, which motivates the search for affordable and robust alternatives. This study presented the design, implementation and field evaluation of a low-cost flood early warning system based on internet of things technologies, combining long-range wide-area network communication with machine learning prediction. Sensor nodes built from ultrasonic water level sensors, rainfall gauges, microcontrollers and solar power supplies transmitted measurements over long-range radio links to community gateways, which forwarded data to a server hosting prediction models. Short-horizon water level forecasts were produced using gradient boosting and recurrent neural models trained on local sensor records together with upstream gauge and rainfall data, and warnings were disseminated through mobile messages and local sirens. Evaluation addressed communication reliability across varying terrain, power autonomy, sensor stability and forecast accuracy at several lead times. The results indicate that long-range radio provided dependable coverage over distances appropriate for village clusters at modest cost, and that machine learning forecasts gave useful accuracy at lead times sufficient for evacuating livestock and valuables. Sensor fouling and gateway power outages were the main reliability issues. The approach proved transferable to comparable settings elsewhere in the wider region. The study recommends community custodianship of nodes, protective housings and integration with national forecasting services.

Keywords: Flood early warning, Internet of things, LoRaWAN, Machine learning forecasting, Disaster risk reduction, Bangladesh

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

PERFORMANCE ANALYSIS OF BLOCKCHAIN-BASED DECENTRALIZED IDENTITY MANAGEMENT SYSTEMS FOR SECURE DIGITAL HEALTH RECORDS IN DEVELOPING COUNTRIES

Dr. Abu Saleh Mohammad Noman[1]
[1]University of Dhaka, Faculty of Engineering and Technology, Department of Robotics and Mechatronics Engineering, Dhaka, Bangladesh

ABSTRACT

Digital health record systems are expanding rapidly in developing countries, supported by national digitisation programmes, donor-funded health information platforms and the growth of mobile connectivity. Patients commonly receive care from public clinics, private providers, pharmacies and non-governmental facilities, and their records are fragmented across institutions with inconsistent identifiers. Centralised identity registries can address fragmentation but concentrate sensitive data, create single points of failure and raise governance concerns where legal protections are still developing. Decentralised identity approaches, in which individuals hold verifiable credentials and control disclosure, have therefore attracted attention, yet their practical performance under the infrastructural conditions typical of low and middle income settings is not well characterised. This study analysed the performance of blockchain-based decentralised identity management systems for securing digital health records in developing country contexts. A prototype was implemented using decentralised identifiers and verifiable credentials anchored on a permissioned distributed ledger, with credential issuance by health authorities, selective disclosure by patients and verification by clinics. Experiments measured credential issuance and verification latency, ledger throughput under concurrent requests, storage growth, behaviour during network partitions and resilience when clinics operate offline and synchronise later. Comparisons were drawn against a centralised registry baseline, and a qualitative assessment considered recovery of lost credentials among patients without smartphones. The results indicate that verification latency remains acceptable for clinical workflows and that permissioned ledgers sustain the transaction rates expected of district-level deployments, while offline operation requires careful handling of revocation freshness. Key management emerged as the dominant practical risk, particularly for patients relying on shared or basic devices. Local conditions clearly mattered. The study recommends guardianship and delegated recovery mechanisms, phased pilots alongside existing registries and explicit regulatory treatment of credential custody.

Keywords: Decentralized identity, Blockchain, Digital health records, Verifiable credentials, Key management, Health informatics

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

OPTIMIZING 5G NETWORK SLICING THROUGH SOFTWARE-DEFINED NETWORKING AND NETWORK FUNCTION VIRTUALIZATION FOR ULTRA-RELIABLE LOW-LATENCY COMMUNICATION IN SMART CITY INFRASTRUCTURES

Prof. Dr. Ahmed Al-Kuwari[1], Fatima Al-Mannai[1], Assis. Prof. Dr. Khalid Al-Marri[2], Noora Al-Sulaiti[2], Dr. Mohammed Al-Hajri[1]
[1]Qatar University, College of Engineering, Department of Electrical Engineering, Doha, Qatar
[2]Hamad Bin Khalifa University, College of Science and Engineering, Division of Information and Computing Technology, Doha, Qatar

ABSTRACT

Smart city programmes combine services with sharply different communication requirements on shared infrastructure. Traffic management, autonomous shuttles, remote operation of utilities and public safety systems demand very low latency and high reliability, while metering, environmental sensing and digital signage tolerate delay but generate large aggregate volumes. Fifth generation mobile networks address this diversity through network slicing, which partitions a common physical substrate into logical networks with distinct performance guarantees. Realising ultra-reliable low-latency communication in practice depends on how slices are composed, where virtualised functions are placed and how resources are reallocated as demand shifts across a city during the day. This study investigated the optimisation of network slicing for ultra-reliable low-latency communication in smart city infrastructures using software-defined networking and network function virtualisation. A slice orchestration framework was formulated in which a centralised controller performs admission control, places virtualised network functions across edge and regional data centres and assigns radio and transport resources subject to latency, reliability and isolation constraints. The resulting placement and allocation problem was solved with a combination of integer programming for planning and a heuristic online policy for runtime adaptation. Evaluation combined emulation on an open source mobile core testbed with large-scale simulation driven by representative urban traffic profiles. Performance was assessed through end-to-end latency distributions, reliability under node and link failures, slice isolation during congestion and resource utilisation efficiency. The results indicate that placing latency-sensitive functions at edge sites while consolidating tolerant workloads regionally satisfies strict delay budgets without excessive overprovisioning, and that reserving modest protection capacity preserves reliability during failures. Isolation degraded mainly under simultaneous surges. The observed patterns varied across the study sites. The study recommends intent-based slice specification and coordinated planning between municipal authorities and network operators.

Keywords: 5G network slicing, Software-defined networking, Network function virtualization, Ultra-reliable low-latency communication, Smart city, Resource orchestration

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

RECOVERY OF RARE EARTH ELEMENTS FROM INDUSTRIAL FLY ASH USING ORGANIC ACID LEACHING AND SOLVENT EXTRACTION: EXPERIMENTAL STUDY AND TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT

Dr. Nikolay Stoyanov[1]
[1]University of Chemical Technology and Metallurgy, Faculty of Chemical and Systems Engineering, Department of Inorganic and Electrochemical Production, Sofia, Bulgaria

ABSTRACT

Rare earth elements are indispensable to permanent magnets, phosphors, catalysts and clean energy technologies, yet their supply remains geographically concentrated and vulnerable to disruption. Coal combustion fly ash, generated in large quantities by thermal power plants across Central and Eastern Europe, contains appreciable concentrations of lanthanides and yttrium and is therefore increasingly regarded as a secondary resource rather than a waste requiring disposal. Conventional recovery routes rely on concentrated mineral acids at elevated temperatures, which raise concerns regarding corrosion, effluent treatment and overall environmental burden. Organic acids offer a milder and more selective alternative, although their leaching behaviour in complex aluminosilicate matrices is not fully understood. This study investigated the recovery of rare earth elements from industrial fly ash using organic acid leaching followed by solvent extraction, and assessed the technical and economic feasibility of the proposed route. Fly ash samples collected from a lignite-fired power station were characterised by mineralogical and elemental analysis. Leaching experiments employed citric, oxalic and acetic acids, with systematic variation of acid concentration, solid to liquid ratio, temperature and residence time, and were preceded in selected runs by alkaline roasting to disrupt the glassy phase. The resulting leachates were purified through solvent extraction with organophosphorus extractants, and process performance was evaluated together with reagent consumption, energy demand and projected capital and operating costs. The results indicate that citric acid leaching combined with mild thermal pretreatment achieved recovery efficiencies approaching those of mineral acid systems while substantially reducing aluminium and iron co-dissolution. Solvent extraction produced a concentrate of acceptable purity for downstream refining. Implementation varied considerably. Documentation of local knowledge was identified as a clear priority. The techno-economic assessment suggests viability at plant scale provided that leachate is recirculated and residues are valorised in construction materials, and recommends pilot-scale verification.

Keywords: Rare earth elements, Fly ash valorization, Organic acid leaching, Solvent extraction, Techno-economic assessment, Circular economy

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

DEVELOPMENT OF LOW-COST ADSORBENTS FROM COTTON STALK WASTE FOR THE REMOVAL OF HEAVY METAL IONS FROM MINING WASTEWATER: ISOTHERM, KINETIC AND THERMODYNAMIC ANALYSIS

Prof. Dr. Firuz Rahimov[1], Nigina Saidova[1], Assist. Prof. Dr. Jamshed Nazarov[2], Zarina Sharipova[2], Bakhtiyor Qodirov[1]

[1]Tajik Technical University named after Academician M. S. Osimi, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, Department of Chemical Technology, Dushanbe, Tajikistan

[2]Tajik National University, Faculty of Chemistry, Department of Physical and Colloid Chemistry, Dushanbe, Tajikistan

ABSTRACT

Mining and mineral processing operations in mountainous Central Asia generate effluents loaded with lead, cadmium, copper and zinc, which threaten river systems used for irrigation and drinking water. Conventional treatment by chemical precipitation, ion exchange or commercial activated carbon is often prohibitively expensive for small and medium-sized operators, and it produces sludge that requires further management. Agricultural residues represent an abundant and inexpensive feedstock for adsorbent production, and cotton stalk waste is particularly promising in Tajikistan, where cotton cultivation generates substantial quantities of lignocellulosic residue that is commonly burned in the field. This study developed low-cost adsorbents from cotton stalk waste and evaluated their capacity to remove heavy metal ions from mining wastewater. Cotton stalks were washed, dried, milled and converted into biochar by slow pyrolysis, with a portion of the material subsequently activated using phosphoric acid and potassium hydroxide. The adsorbents were characterised by surface area measurement, infrared spectroscopy, electron microscopy and determination of surface functional groups. Batch adsorption experiments examined the influence of pH, contact time, initial metal concentration, adsorbent dosage and temperature, using both synthetic solutions and real effluent from a polymetallic mining site. Equilibrium data were interpreted through Langmuir, Freundlich and Temkin models, kinetics through pseudo-first-order and pseudo-second-order expressions, and thermodynamic parameters were derived from temperature-dependent measurements. The results show that chemically activated cotton stalk biochar exhibited markedly enhanced porosity and adsorption capacity, with equilibrium behaviour best described by the Langmuir model and kinetics following pseudo-second-order behaviour, indicating chemisorption on a largely homogeneous surface. Adsorption proved spontaneous and endothermic, and regeneration remained effective over several cycles. Implementation varied considerably. The study recommends column trials under continuous flow and integration into decentralised treatment schemes.

Keywords: Cotton stalk waste, Low-cost adsorbents, Heavy metal removal, Mining wastewater, Adsorption isotherms, Biochar

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

THERMOCHEMICAL CONVERSION OF LOCAL COAL AND AGRICULTURAL RESIDUES INTO SYNTHESIS GAS THROUGH CO-GASIFICATION IN A FLUIDIZED-BED REACTOR UNDER VARYING STEAM-TO-FUEL RATIOS

Dr. Sherali Davlatov[1], Madina Karimova[2]
[1]Tajik Technical University named after Academician M. S. Osimi, Faculty of Energy, Department of Thermal Power Engineering, Dushanbe, Tajikistan
[2]Tajik National University, Faculty of Chemistry, Department of Organic Chemistry, Dushanbe, Tajikistan

ABSTRACT

Countries with limited access to imported hydrocarbons and extensive domestic coal reserves face the dual challenge of securing energy supply while reducing the environmental consequences of solid fuel combustion. Gasification offers a flexible route for converting carbonaceous feedstocks into synthesis gas suitable for power generation, hydrogen production or chemical synthesis. Co-gasification of coal with agricultural residues is of particular interest because biomass contributes higher volatile content and reactive alkali species that catalyse char conversion, while coal provides the energy density and year-round availability that seasonal residues lack. Steam addition further influences gas composition by promoting water gas shift and reforming reactions. This study examined the thermochemical conversion of local coal and agricultural residues into synthesis gas through co-gasification in a bubbling fluidized-bed reactor operated under varying steam-to-fuel ratios. Coal from a regional deposit was blended with cotton stalk and wheat straw at several mixing proportions, and the fuels were characterised by proximate, ultimate and ash composition analysis. Experiments were conducted at atmospheric pressure across a range of bed temperatures, with steam-to-fuel ratio varied systematically while maintaining stable fluidization. Product gas composition, tar yield, carbon conversion, cold gas efficiency and lower heating value were monitored, and bed material was inspected for signs of agglomeration. The results indicate that increasing the steam-to-fuel ratio raised hydrogen content and improved carbon conversion while moderately diluting the heating value of the product gas. Biomass addition reduced tar formation and enhanced reactivity, with synergistic effects most evident at intermediate blending ratios. Excessive steam depressed bed temperature and lowered overall efficiency. Results remained stable under alternative analytical specifications. The study recommends operating within an intermediate steam window and monitoring alkali-induced agglomeration, and it supports pilot-scale demonstration for decentralised energy supply.

Keywords: Co-gasification, Synthesis gas, Fluidized-bed reactor, Agricultural residues, Steam-to-fuel ratio, Energy security

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

SUSTAINABLE PRODUCTION OF BIODIESEL FROM WASTE COOKING OIL USING EGGSHELL-DERIVED CALCIUM OXIDE HETEROGENEOUS CATALYST: PARAMETRIC OPTIMIZATION BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Nusrat Jahan[1], Md. Tanvir Hossain[1], Prof. Dr.[2], Shakil Ahmed[2]
[1]Bangladesh University of Engineering and Technology, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Dhaka, Bangladesh
[2]Chittagong University of Engineering and Technology, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Chittagong, Bangladesh

ABSTRACT

Waste cooking oil represents both an environmental liability and an undervalued feedstock in rapidly urbanising countries, where large volumes are discharged into drains or diverted into informal reuse that poses health risks. Converting this residue into biodiesel addresses waste management and energy diversification simultaneously, yet conventional homogeneous alkaline catalysts complicate product separation, generate saponified by-products and cannot be recovered. Heterogeneous catalysts prepared from calcium-rich biological waste offer an attractive alternative, and chicken eggshell is especially suitable because calcination converts its calcium carbonate into highly basic calcium oxide at modest cost. This study investigated the sustainable production of biodiesel from waste cooking oil using an eggshell-derived calcium oxide heterogeneous catalyst, with process conditions optimised through response surface methodology. Eggshells collected from bakeries and restaurants were cleaned, dried, ground and calcined to obtain the active oxide phase, which was characterised by X-ray diffraction, infrared spectroscopy, electron microscopy and basicity measurement. Waste cooking oil was filtered and pretreated to reduce free fatty acid content before transesterification. A central composite design examined the effects of methanol to oil molar ratio, catalyst loading, reaction temperature and reaction time on biodiesel yield, and the resulting model was validated experimentally. Fuel properties of the product were assessed against international biodiesel standards. The results show that calcined eggshell catalyst produced high biodiesel yields under moderate conditions, with methanol to oil ratio and catalyst loading exerting the strongest influence. The optimised product met specifications for density, viscosity, acid value and flash point, and the catalyst retained activity over several reuse cycles before leaching reduced performance. The study recommends continuous reactor trials and assessment of feedstock collection logistics for scale-up.

Keywords: Biodiesel, Waste cooking oil, Eggshell catalyst, Calcium oxide, Transesterification, Response surface methodology

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

TREATMENT OF TEXTILE DYEING EFFLUENT BY COMBINED ELECTROCOAGULATION AND ADVANCED OXIDATION PROCESSES: PERFORMANCE EVALUATION, ENERGY CONSUMPTION AND SLUDGE CHARACTERIZATION

Dr. Sharmin Sultana[1], Mahbubur Rahman[2], Prof. Dr. Kamrul Hasan[1]
[1]Bangladesh University of Engineering and Technology, Faculty of Civil Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Dhaka, Bangladesh
[2]Shahjalal University of Science and Technology, School of Applied Sciences and Technology, Department of Chemical Engineering and Polymer Science, Sylhet, Bangladesh

ABSTRACT

The textile industry is a cornerstone of export-oriented manufacturing in South Asia, but wet processing generates effluent characterised by intense colour, high chemical oxygen demand, elevated salinity and recalcitrant synthetic dyes. Biological treatment alone is frequently inadequate because azo dyes and auxiliary chemicals resist microbial degradation and may inhibit activated sludge. Electrocoagulation offers rapid destabilisation of colloidal and dissolved species through in situ generation of metal hydroxides, while advanced oxidation processes mineralise residual organics via hydroxyl radicals. Combining the two in sequence is attractive because electrocoagulation reduces the organic load entering the oxidation stage, lowering reagent and energy demand. This study evaluated the treatment of textile dyeing effluent by combined electrocoagulation and advanced oxidation processes, with attention to performance, energy consumption and the nature of the sludge produced. Effluent was collected from dyeing units in an industrial cluster and characterised for colour, chemical oxygen demand, total dissolved solids, pH and conductivity. Electrocoagulation was conducted in a batch cell with aluminium and iron electrodes, varying current density, treatment time, initial pH and interelectrode distance. The pretreated effluent was then subjected to Fenton and photo-Fenton oxidation at different reagent dosages. Specific energy consumption and operating cost were calculated, and the resulting sludge was examined by thermal analysis, infrared spectroscopy and leaching tests. The results indicate that the combined sequence achieved high colour and chemical oxygen demand removal that neither process reached alone, with iron electrodes performing better at near-neutral pH. Photo-Fenton treatment substantially reduced reagent requirements compared with conventional Fenton oxidation. Sludge proved rich in metal hydroxides and dye fragments but passed leaching criteria for non-hazardous disposal. Documentation of local knowledge was identified as a clear priority. The study recommends pilot validation and exploration of sludge reuse in construction materials.

Keywords: Textile effluent, Electrocoagulation, Advanced oxidation, Fenton process, Energy consumption, Sludge characterization

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

MEMBRANE-BASED SEPARATION OF CARBON DIOXIDE FROM NATURAL GAS USING MIXED MATRIX MEMBRANES INCORPORATED WITH METAL-ORGANIC FRAMEWORKS: SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND GAS PERMEATION PERFORMANCE

Anika Tabassum[1]
[1]Bangladesh University of Engineering and Technology, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Dhaka, Bangladesh

ABSTRACT

Natural gas frequently contains carbon dioxide at concentrations that lower calorific value, promote pipeline corrosion in the presence of water and must therefore be reduced before transmission or liquefaction. Amine absorption dominates industrial practice but carries substantial energy penalties, solvent degradation and a considerable equipment footprint. Membrane separation offers a compact and continuous alternative, although polymeric membranes are constrained by the inverse relationship between permeability and selectivity and by plasticisation at elevated carbon dioxide partial pressure. Mixed matrix membranes, in which porous fillers are dispersed within a polymer matrix, aim to exceed this limit, and metal-organic frameworks are attractive fillers because their tunable pore chemistry and organic linkers favour compatibility with the surrounding polymer. This study investigated membrane-based separation of carbon dioxide from natural gas using mixed matrix membranes incorporating metal-organic frameworks, covering synthesis, characterisation and gas permeation performance. Frameworks of the zeolitic imidazolate and amine-functionalised types were prepared solvothermally and dispersed at several loadings in a glassy polyimide matrix to form dense films by solution casting. Membrane morphology, crystallinity, thermal stability and filler dispersion were examined by electron microscopy, X-ray diffraction, thermogravimetric analysis and spectroscopic methods. Permeation of carbon dioxide and methane was measured using the constant volume method across a range of feed pressures and temperatures, and mixed gas tests assessed behaviour under representative conditions. The results clearly indicate that moderate filler loading increased carbon dioxide permeability while preserving or improving selectivity over methane, whereas higher loading produced agglomeration and interfacial voids that degraded performance. Amine-functionalised frameworks enhanced sorption selectivity and mitigated plasticisation. The study therefore recommends attention to interfacial engineering and testing with hollow fibre modules under realistic feed compositions.

Keywords: Mixed matrix membranes, Metal-organic frameworks, Carbon dioxide separation, Natural gas sweetening, Gas permeation, Membrane selectivity

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

VALORIZATION OF PALM OIL MILL EFFLUENT INTO BIOHYDROGEN AND BIOMETHANE THROUGH TWO-STAGE ANAEROBIC DIGESTION: PROCESS STABILITY, MICROBIAL COMMUNITY AND ENERGY RECOVERY ANALYSIS

Prof. Dr. Nurul Aisyah binti Ahmad[1], Tan Wei Ming[1], Assist. Prof. Dr. Muhammad Hafiz bin Rahman[2], Siti Hajar Ismail[2], Lim Chee Keong[1]

[1]Universiti Teknologi Malaysia, Faculty of Chemical and Energy Engineering, Department of Bioprocess and Polymer Engineering, Johor Bahru, Malaysia

[2]Universiti Putra Malaysia, Faculty of Engineering, Department of Chemical and Environmental Engineering, Serdang, Malaysia

ABSTRACT

Palm oil milling generates large volumes of effluent with high organic strength, and its conventional management in open ponding systems releases methane directly to the atmosphere while occupying extensive land. Because this effluent is rich in readily degradable carbohydrates, proteins and residual oil, it constitutes a promising substrate for biological energy recovery. Two-stage anaerobic digestion separates acidogenic hydrogen production from methanogenic conversion, allowing each stage to operate under conditions favouring its dominant microbial consortium and typically improving overall energy yield and process stability compared with single-stage operation. This study examined the valorisation of palm oil mill effluent into biohydrogen and biomethane through two-stage anaerobic digestion, with emphasis on process stability, microbial community structure and energy recovery. Effluent collected from a mill was characterised for chemical oxygen demand, volatile solids, nutrients and oil content. The first-stage reactor was operated under thermophilic acidogenic conditions at short hydraulic retention time with controlled pH to suppress hydrogen-consuming organisms, and its effluent fed a mesophilic methanogenic reactor. Gas production and composition, volatile fatty acid profiles, alkalinity and organic removal were monitored over extended operation, while microbial communities were profiled by high-throughput sequencing of ribosomal gene amplicons. Energy recovery was calculated from combined gas yields. The results indicate that two-stage operation delivered higher total energy recovery than single-stage digestion, with stable hydrogen production sustained by Clostridium-dominated communities and robust methane generation supported by acetoclastic and hydrogenotrophic archaea. Acetate and butyrate accumulation signalled the onset of instability during organic overloading. Oil residues in the feedstock inhibited acidogenesis unless they were partially removed during pretreatment. Longer-term monitoring would further strengthen the conclusions drawn here. The study recommends careful loading control, recirculation of digestate for alkalinity and pilot demonstration integrated with existing mill energy systems.

Keywords: Palm oil mill effluent, Biohydrogen, Biomethane, Two-stage anaerobic digestion, Microbial community, Energy recovery

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS SIMULATION OF HEAT AND MASS TRANSFER IN A PACKED-BED ABSORPTION COLUMN FOR POST-COMBUSTION CARBON CAPTURE USING AQUEOUS AMINE BLENDS

Assoc. Prof. Dr. Ravindran Subramaniam[1], Nor Azlina binti Yusof[2]
[1]Universiti Teknologi Petronas, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Seri Iskandar, Perak, Malaysia
[2]Universiti Kebangsaan Malaysia, Faculty of Engineering and Built Environment, Department of Chemical and Process Engineering, Bangi, Selangor, Malaysia

ABSTRACT

Post-combustion capture with aqueous amine solvents remains the most mature technology for reducing carbon dioxide emissions from power generation and industrial flue gases, yet its energy requirement and capital cost continue to limit deployment. Performance depends strongly on coupled heat and mass transfer within the packed absorption column, where exothermic reaction, solvent evaporation, liquid maldistribution and temperature bulge formation interact in ways that simple equilibrium-stage models cannot capture. Computational fluid dynamics provides a means of resolving these local phenomena and of assessing solvent blends and packing configurations before pilot construction. This study developed a computational fluid dynamics simulation of heat and mass transfer in a packed-bed absorption column for post-combustion carbon capture using aqueous amine blends. The column was represented as a porous medium with an Eulerian treatment of the counter-current gas and liquid phases, incorporating reaction kinetics for monoethanolamine blended with piperazine and with methyldiethanolamine, together with correlations for interfacial area, mass transfer coefficients and liquid holdup. Energy balances accounted for absorption enthalpy, sensible heating and solvent vaporisation. The model was validated against published pilot plant data before being applied to parametric studies of gas flow rate, liquid to gas ratio, inlet solvent temperature, lean loading and packing height. The results reproduced the characteristic temperature bulge and showed that its position and magnitude governed local driving force and overall capture efficiency. Blended solvents enhanced absorption rate in the upper section while reducing regeneration duty relative to single amine systems, and liquid to gas ratio emerged as the dominant operating variable. Non-uniform liquid distribution markedly reduced effective interfacial area. Implementation varied considerably. The study recommends coupling the model with regeneration simulation for full-process design and optimisation.

Keywords: Carbon capture, Packed-bed absorption, Computational fluid dynamics, Aqueous amine blends, Heat and mass transfer, Process simulation

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

INTEGRATED PEST MANAGEMENT STRATEGIES FOR SUSTAINABLE CROP PRODUCTION IN TROPICAL REGIONS

Assoc. Prof. Dr. Siti Nurhaliza[1], Prof. Dr. Bambang Sutrisno[2], Dr. Rina Wijaya[1], Assis Prof. Dr. Agus Santoso[2]

[1]IPB University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Bogor, Indonesia
[2]Universitas Gadjah Mada, Faculty of Agriculture, Department of Plant Pests and Diseases, Yogyakarta, Indonesia

ABSTRACT

Tropical agricultural systems are characterised by warm temperatures, high humidity and continuous cropping, conditions that favour the rapid development of insect pests, plant pathogens and weeds throughout the year. In many tropical regions, farmers have relied heavily on synthetic pesticides to protect crops, often applying them preventively and in excessive quantities. This dependence has led to pesticide resistance, outbreaks of secondary pests, the destruction of natural enemies, contamination of soil and water, and risks to human health. Integrated pest management offers an ecologically based alternative that combines biological, cultural, mechanical and chemical methods in a coordinated manner, using pesticides only when necessary and based on regular monitoring. This study evaluated integrated pest management strategies for sustainable crop production in tropical regions, with a focus on rice, vegetable and horticultural systems in Indonesia. Field experiments were conducted in farmers' fields comparing integrated approaches with conventional pest control practices, complemented by surveys and interviews with farmers who had participated in farmer field schools. The integrated strategies included pest and natural enemy monitoring, conservation of beneficial insects through flowering field margins, use of resistant varieties, synchronised planting, pheromone traps and biological control agents such as entomopathogenic fungi. The results indicate that integrated pest management maintained comparable or higher yields while substantially reducing pesticide applications and production costs. Populations of predators and parasitoids were notably higher in integrated plots, contributing to natural pest regulation. Farmers who participated in field schools demonstrated improved ecological knowledge and decision-making skills. However, wider adoption was constrained by limited availability of biological control products, the perceived complexity of monitoring and the influence of pesticide retailers. The approach proved transferable to comparable settings elsewhere in the wider region. Local conditions clearly mattered. The study recommends expanding farmer field schools, supporting local production of biocontrol agents and strengthening pesticide regulation.

Keywords: Integrated pest management, Biological control, Tropical agriculture, Farmer field schools, Pesticide reduction, Indonesia

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

SUSTAINABLE LIVESTOCK PRODUCTION AND ANIMAL NUTRITION STRATEGIES FOR IMPROVED FOOD SECURITY

Dr. Abdoulaye Ndiaye[1], Prof. Dr. Aminata Sow[2], Assoc. Prof. Dr. Ousmane Fall[1]
[1]Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Inter-State School of Veterinary Sciences and Medicine, Department of Animal Production, Dakar, Senegal
[2]Université Gaston Berger de Saint-Louis, Faculty of Agronomic Sciences, Aquaculture and Food Technologies, Saint-Louis, Senegal

ABSTRACT

Livestock play a fundamental role in food security and also rural livelihoods across West Africa, providing meat, milk, income, draught power, manure and a means of savings and insurance for pastoral and agro-pastoral households. Growing urban populations and rising incomes are increasing demand for animal-source foods, yet livestock productivity remains low due to seasonal feed shortages, poor-quality forage, disease, limited veterinary services and the degradation of rangelands. In addition, livestock systems face growing pressure to reduce their environmental footprint, particularly greenhouse gas emissions and land degradation. Improving animal nutrition is therefore a key pathway toward more productive and sustainable livestock systems. This study carefully examined sustainable livestock production and animal nutrition strategies aimed at improving food security, with a focus on cattle, small ruminants and poultry in agro-pastoral areas of Senegal. A combination of on-farm feeding trials, household surveys and participatory assessments with herders and livestock keepers was employed. The strategies evaluated included the use of improved forage species, cultivation of fodder legumes, conservation of crop residues through silage and hay, supplementation with agro-industrial by-products such as groundnut cake and cottonseed, and the use of locally formulated mineral blocks. The results clearly show that improved feeding strategies significantly increased weight gain, milk production and reproductive performance, particularly during the dry season when natural pasture is scarce. Fodder legumes improved both animal diets and soil fertility when integrated into cropping systems. Households adopting these strategies reported higher income from livestock sales and greater consumption of milk and meat. Constraints included limited access to quality seeds, high costs of supplements and insufficient technical support. The study therefore recommends strengthening forage seed systems, promoting crop and livestock integration and supporting herder organisations.

Keywords: Livestock production, Animal nutrition, Food security, Forage legumes, Agro-pastoralism, Senegal

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

CLIMATE-SMART AGRICULTURE PRACTICES FOR ADAPTATION AND MITIGATION IN WEST AFRICAN FARMING SYSTEMS

Prof. Dr. Moussa Diop[1], Dr. Aissatou Ba[2], Assoc. Prof. Dr. Ibrahima Sarr[1], Dr. Fatoumata Diallo[3], Assis Prof. Dr. Cheikh Tidiane[1]

[1]Université Cheikh Anta Diop de Dakar, National Higher School of Agriculture, Department of Agronomy, Thiès, Senegal

[2]Senegalese Institute of Agricultural Research, Centre for Agricultural Climate Studies, Dakar, Senegal

[3]Université Gamal Abdel Nasser de Conakry, Faculty of Sciences and Techniques, Department of Agronomy, Conakry, Guinea

ABSTRACT

West African farming systems are highly exposed to climate variability and change, with the Sahelian and Sudanian zones experiencing erratic rainfall, recurrent droughts, rising temperatures and land degradation. Most farmers cultivate millet, sorghum, maize, groundnut and cowpea under rain-fed conditions, making yields highly sensitive to the onset and distribution of rainfall. Climate-smart agriculture has been promoted as an integrated approach that seeks to increase productivity sustainably, strengthen adaptation and resilience, and reduce or remove greenhouse gas emissions where possible. Understanding which practices deliver these combined benefits under local conditions is essential for guiding agricultural policy and investment. This study assessed climate-smart agriculture practices for adaptation and mitigation in West African farming systems, with field sites in Senegal, Mali and Guinea. A mixed-methods design was employed, combining on-farm trials, soil carbon measurements, household surveys and participatory evaluations with farmers and extension agents. The practices examined included drought-tolerant and early-maturing varieties, farmer-managed natural regeneration of trees, zaï pits and half-moons for water harvesting, microdosing of fertilisers, intercropping cereals with legumes and the use of seasonal climate information services. The results clearly indicate that combinations of water harvesting, organic amendments and improved varieties significantly increased yields and reduced crop failure during dry years. Farmer-managed natural regeneration and agroforestry enhanced soil organic carbon and provided additional products such as fodder and firewood, contributing to both mitigation and household resilience. Access to climate information improved planting decisions. Adoption was influenced by land tenure security, labour availability, gender and access to markets. Women farmers faced particular constraints in accessing land and inputs. The study therefore recommends scaling successful practices through farmer networks, integrating climate services into extension and securing land rights for smallholders.

Keywords: Climate-smart agriculture, Adaptation, Mitigation, Water harvesting, Agroforestry, West Africa

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

POST-HARVEST LOSS REDUCTION AND FOOD SECURITY ENHANCEMENT THROUGH IMPROVED STORAGE TECHNOLOGIES

Dr. Petar Markovski[1], Prof. Dr. Ljupco Georgiev[1], Assis Prof. Dr. Ana Stojanov[2]
[1]Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Agricultural Sciences and Food, Department of Food Technology, Skopje, North Macedonia
[2]Goce Delčev University of Štip, Faculty of Agriculture, Department of Plant Production, Štip, North Macedonia

ABSTRACT

A considerable proportion of food produced worldwide is lost between harvest and consumption, undermining food security, farmers' incomes and the efficient use of land, water and energy. Post-harvest losses arise from inadequate drying, insect infestation, mould development, rodents, mechanical damage and unsuitable storage conditions, and they are particularly severe among smallholder farmers who lack access to modern storage infrastructure. Losses affect not only the quantity of food but also its quality and safety, as fungal contamination may lead to the accumulation of mycotoxins that pose serious health risks. Improved storage technologies offer a practical means of reducing these losses and stabilising food availability throughout the year. This study examined the effectiveness of improved storage technologies in reducing post-harvest losses and enhancing food security among smallholder producers of cereals, pulses, potatoes and fruit in North Macedonia and neighbouring Balkan regions. An experimental design was combined with farm surveys and interviews. Traditional storage methods, such as open sacks and conventional cellars, were compared with hermetic storage bags, metal silos, improved ventilated storage rooms and low-cost cold storage solutions. Grain moisture, insect populations, fungal contamination, weight loss and quality parameters were monitored during the storage period, while economic analysis assessed costs and returns. The results show that hermetic storage and metal silos substantially reduced insect damage and weight loss in cereals and pulses without the use of chemical fumigants. Improved ventilated and cooled storage extended the shelf life of potatoes and fruit and reduced sprouting and decay. Farmers adopting improved technologies were able to store produce longer and sell at more favourable prices. However, initial investment costs and limited awareness constrained adoption. Documentation of local knowledge was identified as a clear priority. The study recommends subsidies, cooperative storage facilities and training programmes on post-harvest handling.

Keywords: Post-harvest losses, Storage technologies, Hermetic storage, Food security, Mycotoxins, Smallholder farmers

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

AGROFORESTRY SYSTEMS AND BIODIVERSITY CONSERVATION IN MEDITERRANEAN CLIMATE ZONES

Assis Prof. Dr. Stefan Dimitrov[1], Prof. Dr. Katerina Blazevska[2], Dr. Nikola Jovanovic[3], Assoc. Prof. Dr. Vesna Todorovska[2]

[1]Agricultural University of Plovdiv, Faculty of Agronomy, Department of Agroecology, Plovdiv, Bulgaria

[2]Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Hans Em Faculty of Forest Sciences, Landscape Architecture and Environmental Engineering, Skopje, North Macedonia

[3]University of Belgrade, Faculty of Forestry, Department of Ecological Engineering, Belgrade, Serbia

ABSTRACT

Mediterranean climate zones are recognised as global hotspots of biodiversity, yet they are increasingly threatened by agricultural intensification, land abandonment, wildfires, overgrazing and climate change. Traditional land-use systems in the region, such as wood pastures, olive groves with grazing, chestnut orchards and hedgerow landscapes, historically combined trees, crops and livestock in ways that supported a rich diversity of plants, insects, birds and soil organisms. Many of these agroforestry systems have declined as a result of modernisation and changing economic conditions. Their revival and adaptation are now being considered as a strategy to reconcile agricultural production with biodiversity conservation and climate adaptation. This study examined the role of agroforestry systems in biodiversity conservation in Mediterranean and sub-Mediterranean climate zones of the Balkan Peninsula. Field research was conducted in silvopastoral systems, traditional orchards with intercropping, olive and almond groves and modern alley cropping systems, which were compared with conventional open-field agriculture. Biodiversity was assessed through vegetation surveys, pollinator and bird monitoring, and analysis of soil biological activity, while interviews with farmers explored management practices and perceptions. The results indicate that agroforestry systems supported significantly higher plant species richness, pollinator abundance and bird diversity than conventional fields. Tree cover improved microclimatic conditions, reduced soil erosion and increased soil organic matter. Traditional silvopastoral landscapes with old trees provided particularly important habitats for specialised species. Farmers appreciated the additional products and shade provided by trees but noted challenges related to labour requirements, mechanisation and limited policy support. The study concludes that agroforestry represents an effective approach for conserving biodiversity in Mediterranean landscapes and recommends stronger recognition within agricultural and environmental policies, including targeted payments for ecosystem services.

Keywords: Agroforestry, Biodiversity conservation, Mediterranean climate, Silvopastoral systems, Ecosystem services, Balkans

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGIES FOR OPTIMIZING FERTILIZER APPLICATION AND YIELD PREDICTION

Prof. Dr. Goran Stojanovski[1], Assoc. Prof. Dr. Milena Petrovska[1], Dr. Aleksandar Nikolov[2]
[1]Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Agricultural Sciences and Food, Department of Agricultural Engineering, Skopje, North Macedonia
[2]University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Department of Field and Vegetable Crops, Novi Sad, Serbia

ABSTRACT

Fertiliser use is essential for maintaining crop productivity, but uniform application across fields often leads to inefficiencies, as soil fertility, moisture and crop growth vary considerably within and between fields. Excessive application increases production costs and contributes to nitrate leaching, greenhouse gas emissions and water pollution, while insufficient application limits yields. Precision agriculture technologies, including global navigation satellite systems, soil sensors, remote sensing from satellites and unmanned aerial vehicles, variable-rate application equipment and data analytics, offer opportunities to manage this variability and to apply inputs where and when they are needed. Accurate yield prediction is also increasingly important for farm planning, marketing and food security monitoring. This study evaluated precision agriculture technologies for optimising fertiliser application and predicting yields in maize and wheat production systems in North Macedonia and Serbia. Field experiments compared conventional uniform fertilisation with variable-rate nitrogen application based on soil sampling maps, vegetation indices derived from multispectral imagery and crop sensor readings. Yield monitors recorded spatial yield variation, and machine learning models, including random forest and gradient boosting algorithms, were developed using remote sensing, soil and weather data to predict yields before harvest. The results show that variable-rate fertilisation reduced nitrogen use while maintaining or slightly increasing yields, thereby improving nitrogen use efficiency and economic returns. Vegetation indices captured during key growth stages were strongly associated with final yields. Machine learning models achieved good predictive accuracy, particularly when combining remote sensing with weather variables. Adoption barriers included high equipment costs, limited digital skills, small field sizes and lack of advisory services. The study recommends shared service models, training for farmers and advisers and policy incentives to support precision agriculture adoption.

Keywords: Precision agriculture, Variable-rate fertilization, Remote sensing, Yield prediction, Machine learning, Nitrogen use efficiency

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

MOLECULAR MECHANISMS OF DROUGHT TOLERANCE IN WEST AFRICAN CROP VARIETIES

Prof. Dr. Aminata Diop[1], Dr. Cheikh Tidiane Fall[2], Assoc. Prof. Dr. Moussa Sarr[1]
[1]Universite Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculty of Sciences and Techniques, Department of Plant Biology, Dakar, Senegal
[2]Senegalese Agricultural Research Institute, Regional Centre of Excellence on Dry Cereals and Associated Crops, Thies, Senegal

ABSTRACT

Drought is the most important abiotic constraint limiting crop productivity in West Africa, where agriculture is predominantly rainfed and highly exposed to erratic rainfall, prolonged dry spells and rising temperatures. Local varieties of pearl millet, sorghum, cowpea and groundnut have evolved under these harsh conditions and represent a valuable reservoir of adaptive traits. Understanding the molecular basis of their tolerance is essential for developing improved cultivars capable of sustaining yields under increasingly variable climates. This study investigated the molecular mechanisms underlying drought tolerance in selected West African crop varieties, with particular attention to pearl millet and cowpea landraces collected from Sahelian and Sudanian agroecological zones. Contrasting genotypes were evaluated under well-watered and water-deficit conditions in controlled environments and field trials. Physiological parameters, including stomatal conductance, relative water content, leaf temperature and chlorophyll stability, were measured alongside biochemical indicators such as proline accumulation, antioxidant enzyme activity and lipid peroxidation. Transcriptomic analysis using RNA sequencing was conducted to identify differentially expressed genes, and selected candidates were validated through quantitative real-time PCR. The results revealed that tolerant genotypes maintained higher leaf water status and photosynthetic activity under stress, supported by efficient osmotic adjustment and enhanced antioxidant defence. Transcriptomic profiles showed the activation of genes involved in abscisic acid signalling, dehydrin and late embryogenesis abundant protein synthesis, aquaporin regulation and the detoxification of reactive oxygen species. Transcription factors belonging to the DREB, NAC and MYB families were strongly induced in tolerant landraces, suggesting a central regulatory role. Root architecture traits associated with deeper water extraction also contributed to tolerance. The approach proved transferable to comparable settings elsewhere in the wider region. The study concludes that West African landraces carry distinctive molecular adaptations that can be exploited in marker-assisted breeding and genomic selection programmes to strengthen food security in drought-prone regions.

Keywords: Drought tolerance, Pearl millet, Cowpea, Transcriptomics, Abscisic acid signalling, West Africa

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

GENETIC DIVERSITY AND CONSERVATION STRATEGIES FOR SENEGALESE MANGROVE ECOSYSTEMS

Assist. Prof. Dr. Fatou Diallo[1], Prof. Dr. Ibrahima Ndiaye[2], Dr. Aissatou Ba[1], Assoc. Prof. Dr. Mamadou Diatta[1]

[1]Universite Assane Seck de Ziguinchor, Faculty of Sciences and Technologies, Department of Agroforestry, Ziguinchor, Senegal

[2]Universite Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculty of Sciences and Techniques, Department of Animal and Plant Biology, Dakar, Senegal

ABSTRACT

Mangrove ecosystems along the Senegalese coast, particularly in the Saloum Delta and the Casamance estuary, provide essential ecological and socio-economic services. They stabilise shorelines, store large quantities of carbon, serve as nursery habitats for fish and shellfish and support the livelihoods of coastal communities through fishing, oyster harvesting and the collection of wood and non-timber products. Over recent decades these mangroves have experienced considerable degradation due to drought-induced hypersalinity, reduced freshwater inflow, overexploitation and land conversion, although community-led restoration has achieved notable recovery in some areas. Effective conservation requires knowledge not only of mangrove extent but also of the genetic diversity that underpins resilience and adaptive capacity. This study assessed the genetic diversity and population structure of the dominant mangrove species, Rhizophora racemosa, Rhizophora mangle and Avicennia germinans, across natural and restored stands in Senegal. Leaf samples were collected from multiple sites and analysed using microsatellite markers and chloroplast DNA sequencing. Diversity indices, differentiation among populations and patterns of gene flow were estimated and related to environmental variables such as salinity, tidal regime and distance between estuaries. The findings clearly indicate moderate to high genetic diversity in natural populations of the Casamance, whereas some restored stands showed reduced diversity, reflecting the use of propagules from a limited number of parent trees. Significant differentiation was detected between the Saloum and Casamance systems, suggesting restricted gene flow linked to hydrological barriers. Populations growing under extreme salinity displayed distinct genetic clusters, indicating possible local adaptation. The study recommends incorporating genetic criteria into restoration programmes, sourcing propagules from diverse populations, protecting genetically distinct stands and strengthening collaboration with local communities to ensure the long-term sustainability of Senegalese mangrove ecosystems.

Keywords: Mangrove ecosystems, Genetic diversity, Microsatellite markers, Conservation genetics, Ecological restoration, Senegal

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

BIOTECHNOLOGICAL APPROACHES TO ENHANCE NITROGEN USE EFFICIENCY IN PAKISTANI WHEAT CULTIVARS

Dr. Muhammad Aslam Khan[1], Prof. Dr. Ayesha Rehman[2], Assoc. Prof. Dr. Tariq Mahmood[1], Dr. Sanaullah Baloch[3]

[1]University of Agriculture Faisalabad, Faculty of Agriculture, Department of Plant Breeding and Genetics, Faisalabad, Pakistan

[2]Quaid-i-Azam University, Faculty of Biological Sciences, Department of Plant Sciences, Islamabad, Pakistan

[3]Lasbela University of Agriculture, Water and Marine Sciences, Faculty of Agriculture, Uthal, Balochistan, Pakistan

ABSTRACT

Wheat is the principal staple crop of Pakistan and a cornerstone of national food security. Achieving high wheat yields has relied heavily on the application of nitrogen fertilisers, yet a substantial proportion of the applied nitrogen is not absorbed by the crop and is lost through leaching, volatilisation and denitrification. These losses increase production costs for farmers and contribute to groundwater contamination and greenhouse gas emissions. Improving nitrogen use efficiency in wheat cultivars therefore represents an important objective for both economic and environmental sustainability. This study explored biotechnological approaches to enhance nitrogen use efficiency in Pakistani wheat cultivars. A panel of commercially grown and locally adapted genotypes was evaluated under low and optimal nitrogen regimes in field and greenhouse experiments. Agronomic traits, including grain yield, biomass, nitrogen uptake and nitrogen remobilisation, were measured together with physiological indicators such as chlorophyll content and the activity of key enzymes of nitrogen assimilation, including nitrate reductase and glutamine synthetase. Expression analysis was performed for genes encoding nitrate and ammonium transporters and enzymes of nitrogen metabolism. A genome-wide association study using single nucleotide polymorphism markers was conducted to identify genomic regions associated with nitrogen use efficiency traits. The results showed considerable genetic variation among cultivars, with several genotypes maintaining relatively high yields under reduced nitrogen supply. Efficient genotypes exhibited higher expression of high-affinity nitrate transporter genes and enhanced glutamine synthetase activity, particularly during grain filling. Association analysis identified significant marker-trait associations on several chromosomes, some colocalising with known nitrogen metabolism genes. Results remained stable under alternative analytical specifications. The study concludes that combining genomic tools with physiological screening offers an effective strategy for breeding nitrogen-efficient wheat, and it recommends integrating the identified markers into national breeding programmes alongside improved fertiliser management practices.

Keywords: Nitrogen use efficiency, Wheat, Genome-wide association study, Nitrate transporters, Plant biotechnology, Pakistan

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

MOLECULAR MARKER-ASSISTED SELECTION FOR DISEASE RESISTANCE IN PAKISTANI RICE VARIETIES

Prof. Dr. Khalid Hussain[1], Assist. Prof. Dr. Nargis Shaheen[2], Dr. Fazal Ur Rehman[3], Assoc. Prof. Dr. Zubaida Ahmed[2], Dr. Imran Ali[1]

[1]University of Agriculture Faisalabad, Centre of Agricultural Biochemistry and Biotechnology, Faisalabad, Pakistan

[2]University of the Punjab, Faculty of Life Sciences, School of Biological Sciences, Lahore, Pakistan

[3]The University of Agriculture Peshawar, Institute of Biotechnology and Genetic Engineering, Peshawar, Pakistan

ABSTRACT

Rice is one of the most important food and export crops of Pakistan, and aromatic Basmati varieties enjoy a strong reputation in international markets. Rice production is nevertheless threatened by diseases such as bacterial leaf blight and rice blast, which can cause severe yield losses and reduce grain quality. Chemical control is costly, environmentally harmful and often ineffective, so developing resistant cultivars remains the most sustainable strategy. Conventional breeding for resistance is slow and complicated by the strong influence of environmental conditions on disease expression. This study applied molecular marker-assisted selection to improve disease resistance in Pakistani rice varieties. Elite Basmati and coarse grain cultivars were screened for the presence of major resistance genes against bacterial leaf blight and blast using gene-specific and closely linked molecular markers. Selected cultivars were crossed with donor lines carrying effective resistance genes, and marker-assisted backcrossing was employed to combine several genes while recovering the genetic background of the recurrent parents. Foreground selection targeted the resistance loci, whereas background selection used polymorphic markers distributed across the genome. Advanced lines were evaluated under controlled inoculation and natural field conditions in the major rice-growing districts of Punjab. The results showed that most commercial cultivars lacked effective combinations of resistance genes. Lines carrying several resistance genes exhibited higher and more durable resistance than those carrying a single gene. Importantly, several improved lines retained the grain quality, aroma and agronomic performance characteristic of the original Basmati varieties. The study concludes that marker-assisted selection substantially accelerates the development of disease-resistant rice and recommends its wider adoption in national breeding programmes, together with continuous monitoring of pathogen populations in farmers' fields.

Keywords: Marker-assisted selection, Disease resistance, Bacterial leaf blight, Rice blast, Plant breeding, Basmati rice

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

GENOMIC CHARACTERIZATION OF BRUCELLOSIS PATHOGENS IN IRAQI LIVESTOCK POPULATIONS

Prof. Dr. Ahmed Al-Rubaye[1], Dr. Zainab Al-Khafaji[2], Assoc. Prof. Dr. Mustafa Al-Jubouri[1]

[1]University of Baghdad, College of Veterinary Medicine, Department of Microbiology, Baghdad, Iraq

[2]University of Kufa, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Veterinary Public Health, Najaf, Iraq

ABSTRACT

Brucellosis remains one of the most important zoonotic diseases of the Middle East, causing abortion, infertility and reduced milk production in livestock and chronic debilitating illness in people. In Iraq the disease is endemic among sheep, goats, cattle and buffalo, and human cases are frequently linked to the consumption of unpasteurised dairy products and to occupational contact with animals. Years of conflict, the disruption of veterinary services, uncontrolled animal movement and incomplete vaccination coverage have hindered control. Reliable information on which species and lineages circulate in the national herd is needed to guide surveillance, vaccination and public health messaging. This study characterised Brucella isolates recovered from livestock in several Iraqi governorates as part of routine veterinary diagnostic work. Serological screening of flocks and herds was followed by the recovery of isolates from clinical material submitted to veterinary laboratories. Species-level identification was carried out by established diagnostic assays, and genotyping was performed using multilocus sequence typing and multiple locus variable number tandem repeat analysis in order to compare lineages across regions and host species. Results were interpreted together with herd records on vaccination history, management system and animal movement. The findings confirmed that small ruminants are the main reservoir and showed that the lineages circulating in Iraq are closely related to those reported elsewhere in the region, consistent with transboundary animal movement rather than isolated local emergence. Genotypic clustering followed geography and trade routes more closely than host species, and mixed infections within single flocks were documented in districts with extensive animal trading. The observed patterns varied across the study sites. The study recommends strengthening regional surveillance networks, sustained vaccination of small ruminants, movement controls at livestock markets and coordinated veterinary and public health action under a One Health framework.

Keywords: Brucellosis, Zoonotic disease, Molecular epidemiology, Genotyping, Small ruminants, One Health

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ECOLOGICAL IMPACTS OF TIGRIS-EUPHRATES WETLAND RESTORATION ON BIRD MIGRATION PATTERNS

Assist. Prof. Dr. Layla Hassan[1], Prof. Dr. Omar Al-Samarrai[2], Dr. Amira Kadhim[1], Assoc. Prof. Dr. Salam Ibrahim[3]

[1]University of Basrah, College of Science, Department of Ecology, Basrah, Iraq
[2]University of Baghdad, College of Science, Department of Biology, Baghdad, Iraq
[3]University of Thi-Qar, College of Science, Department of Biology, Nasiriyah, Iraq

ABSTRACT

The Mesopotamian marshes of southern Iraq, formed by the confluence of the Tigris and Euphrates rivers, once constituted the largest wetland system in Western Asia and a vital stopover on the migratory flyway linking Eurasia and Africa. Deliberate drainage in the late twentieth century, combined with upstream damming, reduced river discharge and recurrent drought, destroyed much of this habitat and displaced both human communities and wildlife. Partial reflooding since the early years of this century, together with the inscription of the Ahwar as a World Heritage property, has allowed significant ecological recovery, yet the response of migratory birds to restoration remains incompletely documented. This study assessed the ecological impacts of wetland restoration on bird migration patterns in the Hammar, Hawizeh and Central marshes. Seasonal bird counts were conducted along fixed transects and at fixed points across restored, partially restored and degraded sites over several annual cycles. Species richness, abundance, community composition and the timing of arrival and departure were recorded, alongside measurements of water depth, salinity, vegetation cover and reed bed structure. The findings indicate that restored marshes support substantially higher richness and abundance of waterbirds than degraded areas, with notable recoveries among herons, ibises, waders and wintering ducks. Several globally threatened species and regional endemics were recorded in reflooded sites, and some areas again function as staging grounds where migrants accumulate reserves before onward movement. Bird communities responded most strongly to the extent of dense reed beds and to stable, moderately fresh water. Where salinity rose during low-flow years, abundance declined markedly and the use of stopover sites shifted. Implementation varied considerably. The observed patterns varied across the study sites. The study recommends securing environmental water allocations, coordinated transboundary river management and long-term monitoring to sustain the flyway functions of these wetlands.

Keywords: Wetland restoration, Mesopotamian marshes, Bird migration, Waterbirds, Habitat quality, Iraq

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

MOLECULAR PHYLOGENY AND CONSERVATION GENETICS OF IRAQI FRESHWATER FISH SPECIES

Dr. Huda Al-Mosawi[1], Prof. Dr. Jasim Al-Basri[1], Assist. Prof. Dr. Nadia Al-Rawi[2], Dr. Karim Al-Zubaidi[3], Assoc. Prof. Dr. Thuraya Al-Hakeem[1]
[1]University of Basrah, Marine Science Centre, Department of Marine Biology, Basrah, Iraq
[2]University of Baghdad, College of Science, Department of Biology, Baghdad, Iraq
[3]University of Babylon, College of Science, Department of Biology, Hillah, Iraq

ABSTRACT

The freshwater fish fauna of Iraq, dominated by cyprinids of the Tigris and Euphrates basin, includes species of considerable ecological, economic and cultural importance, among them the shabbout, the bunni and several barbs endemic to Mesopotamia. These populations have been affected by reduced river discharge, damming, rising salinity in the lower reaches, pollution, overfishing and the introduction of non-native species. Conservation planning has been constrained by taxonomic uncertainty, since several nominal species are difficult to distinguish on morphology alone and the boundaries between closely related forms remain debated. This study examined the molecular phylogeny and conservation genetics of selected Iraqi freshwater fish species. Specimens were collected from the Tigris, Euphrates, the Shatt al-Arab and the southern marshes in cooperation with local fishers, and tissue samples were analysed using mitochondrial gene sequences together with nuclear markers. Phylogenetic trees were reconstructed using maximum likelihood and Bayesian approaches, species delimitation was tested with coalescent methods, and population genetic structure, diversity and historical demography were estimated for the most widespread taxa. The results supported the distinctiveness of several Mesopotamian endemics and revealed cryptic divergence within at least two widely recognised species, indicating that current taxonomy underestimates regional diversity. Populations in the lower basin showed reduced genetic diversity and signatures of recent decline, consistent with habitat loss and fishing pressure, whereas upstream populations retained greater variation. Dams emerged as significant barriers separating genetic groups within single river systems. Implementation varied considerably. The study concludes that conservation units should be defined on genetic as well as morphological grounds, and it recommends protecting upstream refugia, restoring longitudinal connectivity, regulating fisheries and establishing a reference sequence library to support monitoring and the detection of illegal trade.

Keywords: Molecular phylogeny, Conservation genetics, Freshwater fish, Mesopotamian endemics, Cryptic diversity, Iraq

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

BIODIVERSITY ASSESSMENT OF ENDEMIC PLANT SPECIES IN KOSOVO'S ACCURSED MOUNTAINS

Prof. Dr. Arberesha Mustafa[1], Dr. Besnik Krasniqi[1], Assoc. Prof. Dr. Luljeta Pajaziti[2]
[1]University of Prishtina Hasan Prishtina, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Department of Biology, Prishtina, Kosovo
[2]University of Prizren Ukshin Hoti, Faculty of Life and Environmental Sciences, Prizren, Kosovo

ABSTRACT

The Accursed Mountains, known locally as Bjeshket e Nemuna and forming part of the wider Prokletije massif, represent one of the most important centres of plant endemism in the Balkan Peninsula. Their rugged limestone and silicate terrain, glacial relief, steep altitudinal gradients and complex geological history have produced a mosaic of habitats sheltering numerous Balkan endemics and relict species that survived Pleistocene glaciations in local refugia. In Kosovo these mountains are partly protected within a national park, yet they face pressures from unregulated logging, overgrazing, hydropower development, road construction, uncontrolled tourism and the collection of medicinal plants. This study assessed the diversity, distribution and conservation status of endemic vascular plants in the Kosovar part of the range. Floristic surveys were carried out along altitudinal transects covering montane forests, subalpine meadows, screes, rocky crevices and glacial cirques. Species were identified using regional floras, voucher specimens were deposited in a herbarium, and population size, habitat condition and observable threats were recorded at each locality. Distribution data were analysed in a geographic information system to identify areas of concentrated endemism. The findings confirmed the presence of a substantial number of Balkan and local endemic taxa, with the highest concentrations in subalpine rocky habitats and on isolated peaks. Several populations were small, fragmented and restricted to narrow elevational bands, making them particularly vulnerable to warming and land use change. Chasmophytic species of limestone crevices emerged as especially restricted in distribution. Grazing intensity and recreational pressure were the most frequently recorded disturbances near accessible sites. Longer-term monitoring would further strengthen the conclusions drawn here. The study recommends targeted monitoring of priority taxa, the designation of core protection zones around endemism hotspots, regulation of grazing and tourism, seed banking and closer transboundary cooperation with neighbouring countries.

Keywords: Endemic flora, Plant biodiversity, Bjeshket e Nemuna, Balkan endemism, Conservation assessment, Kosovo

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

REVITALIZATION OF TRADITIONAL BATIK ART THROUGH CONTEMPORARY DESIGN PRACTICES IN INDONESIA

Prof. Dr. Agus Santoso[1], Rina Prameswari[2]
[1]Institut Seni Indonesia Yogyakarta, Faculty of Fine Arts, Department of Craft Arts, Yogyakarta, Indonesia
[2]Institut Teknologi Bandung, Faculty of Art and Design, Textile Craft Study Programme, Bandung, Indonesia

ABSTRACT

Batik is one of the most recognised expressions of Indonesian cultural heritage, combining wax-resist dyeing techniques with motifs that carry philosophical, social and regional meanings. Patterns such as parang, kawung and truntum were historically associated with courtly hierarchies in Yogyakarta and Surakarta, while coastal centres such as Pekalongan, Lasem and Cirebon developed vibrant styles shaped by trade and intercultural exchange. Recognition of Indonesian batik by UNESCO as intangible cultural heritage stimulated national pride and renewed public interest. Nevertheless, traditional hand-drawn batik faces serious pressures, including competition from cheap printed imitations, the declining number of young artisans and the high time and labour costs of production. This study investigated how contemporary design practices contribute to the revitalisation of traditional batik in Indonesia. A qualitative research design was employed, combining fieldwork in batik-producing communities in Central Java, Yogyakarta and the northern coast with interviews involving master artisans, young designers, entrepreneurs, curators and educators. Visual analysis of selected collections was used to examine how motifs, colours and compositions have been reinterpreted. The findings reveal that designers revitalise batik by adapting it to new products, including ready-to-wear fashion, interior textiles and accessories, while experimenting with natural dyes, simplified motifs and asymmetrical layouts that appeal to younger consumers. Collaborations between designers and artisan workshops were most successful when they respected the symbolic integrity of classical patterns and ensured fair remuneration. Digital platforms and social media expanded markets and encouraged storytelling about the origins and meanings of motifs. However, tensions emerged between commercial demands for speed and the slow, meditative nature of hand-drawn work. Seasonal conditions strongly influenced the outcomes. The study concludes that sustainable revitalisation requires design education rooted in heritage knowledge, protection against counterfeit products and support for artisan livelihoods.

Keywords: Batik, Cultural heritage, Contemporary design, Craft revitalization, Natural dyes, Indonesia

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

CULTURAL SYMBOLISM IN BALINESE PAINTING AND ITS TRANSFORMATION IN MODERN VISUAL ARTS

Dr. Made Wirawan[1], Ketut Sari[2], Ayu Lestari[1]
[1]Institut Seni Indonesia Denpasar, Faculty of Fine Arts and Design, Department of Fine Arts, Denpasar, Bali, Indonesia
[2]Universitas Udayana, Faculty of Cultural Sciences, Department of Archaeology and Art History, Denpasar, Bali, Indonesia

ABSTRACT

Balinese painting has developed within a cosmological and religious framework in which art serves as an offering, a narrative medium and a means of maintaining harmony between humans, nature and the divine. The classical Kamasan style, rooted in wayang shadow puppet aesthetics, depicted episodes from the Ramayana, the Mahabharata and Balinese mythology, using strict conventions of figure types, colour and spatial organisation. In the twentieth century, encounters with foreign artists and the growth of tourism contributed to the emergence of new styles in Ubud, Batuan and other villages, introducing everyday scenes, landscapes and new materials. Contemporary Balinese artists continue to negotiate between sacred symbolism, market expectations and global art discourses. This study examined cultural symbolism in Balinese painting and its transformation in modern visual arts. A qualitative approach combining iconographic analysis, art historical research and interviews was adopted. The study analysed works from traditional and modern schools and engaged painters, priests, gallery owners, curators and art students in Bali. The analysis focused on symbols related to the concept of Tri Hita Karana, the duality of rwa bhineda, cosmological orientation and the representation of deities and demonic figures. The findings indicate that core symbolic structures remain influential even in experimental works, although their meanings are frequently reinterpreted. Contemporary artists use traditional iconography to address issues such as environmental degradation, overdevelopment, cultural commodification and identity in a globalised island society. The tourist market encouraged decorative repetition, yet it also provided economic support that enabled some artists to pursue innovative practices. Younger artists combined painting with installation and digital media while maintaining connections to ritual life. The approach proved transferable to comparable settings elsewhere in the wider region. The study concludes that Balinese visual culture demonstrates a dynamic capacity to transform tradition without severing its spiritual foundations.

Keywords: Balinese painting, Cultural symbolism, Kamasan style, Iconography, Modern visual arts, Bali

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

CONTEMPORARY FILIPINO STREET ART AS A MEDIUM OF POLITICAL EXPRESSION AND SOCIAL COMMENTARY

Assoc. Prof. Dr. Miguel Reyes[1], Carlos Dela Cruz[2]
[1]University of Santo Tomas, College of Fine Arts and Design, Department of Painting, Manila, Philippines
[2]Polytechnic University of the Philippines, College of Arts and Letters, Department of Humanities, Manila, Philippines

ABSTRACT

Street art in the Philippines has a long and distinctive history connected to traditions of protest and popular visual culture. During the Martial Law period, artists produced posters, murals and effigies that challenged authoritarian rule, and the burning of satirical effigies during political demonstrations remains a recognisable form of public dissent. In recent decades, murals, graffiti, stencils, wheatpaste posters and paste-ups have proliferated in Metro Manila and regional cities, addressing issues such as human rights, corruption, poverty, labour exploitation, territorial disputes and environmental destruction. Because street art occupies public space and is often produced outside institutional frameworks, it offers a unique lens for understanding how citizens articulate political opinions and claim visibility. This study examined contemporary Filipino street art as a medium of political expression and social commentary. A qualitative and visual ethnographic approach was adopted, involving the documentation of works in urban neighbourhoods, analysis of their imagery and text, and interviews with street artists, collectives, activists, residents and local officials. The research also traced the circulation of street art images on social media platforms. The findings indicate that street artists use humour, satire, religious and folk imagery, and references to national heroes to communicate critical messages in an accessible visual language. Collective projects frequently emerged in response to political events, natural disasters and community struggles against eviction. Social media amplified the reach of works that were often quickly erased, transforming local interventions into national conversations. At the same time, artists faced risks of harassment, legal sanctions and the co-optation of street aesthetics by commercial and government campaigns. The approach proved transferable to comparable settings elsewhere in the wider region. The study argues that street art functions as an important arena of democratic participation and calls for greater recognition of its cultural and civic value.

Keywords: Street art, Political expression, Social commentary, Public space, Protest art, Philippines

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

PRESERVATION OF INDIGENOUS ART FORMS IN PHILIPPINE RURAL COMMUNITIES THROUGH DIGITAL ARCHIVING

Dr. Liza Fernandez[1], Ana Santos[2], Roberto Villanueva[1]
[1]University of the Philippines Baguio, College of Arts and Communication, Baguio City, Philippines
[2]University of San Carlos, School of Arts and Sciences, Department of Fine Arts, Cebu City, Philippines

ABSTRACT

Indigenous communities in the Philippines maintain a diverse body of artistic traditions, including textile weaving, tattooing, woodcarving, epic chanting, music, dance and ritual performance. Among the Cordillera peoples, the Lumad of Mindanao, the Mangyan of Mindoro and many other groups, these art forms are intimately connected with identity, spirituality, land and social relationships. Many practices are transmitted orally and through direct apprenticeship, making them vulnerable to disappearance as elders pass away, young people migrate and communities experience economic and cultural pressures. Digital archiving has been proposed as a means of documenting and safeguarding this heritage, yet it raises important questions about ownership, consent, access and the appropriate representation of sacred knowledge. This study examined the preservation of indigenous art forms in Philippine rural communities through digital archiving initiatives. A participatory action research design was employed in partnership with selected communities in the Cordillera Administrative Region and Mindanao. Data were collected through community consultations, interviews with culture bearers, elders, youth and local cultural workers, and the collaborative production of audio, video and photographic records. The study also analysed existing digital collections maintained by universities, museums and cultural agencies. The findings indicate that community-led archiving increased the involvement of young people, who acquired documentation skills while learning from elders, thereby strengthening intergenerational transmission. Communities emphasised the importance of free, prior and informed consent, control over sensitive materials and the use of indigenous languages in metadata. External archives were sometimes perceived as extractive when materials were stored far from communities and inaccessible to them. Limited connectivity, equipment costs and the need for technical training posed practical challenges. Local conditions clearly mattered. The study recommends community-controlled archives, ethical protocols grounded in indigenous rights and sustained institutional partnerships.

Keywords: Indigenous art, Digital archiving, Cultural heritage preservation, Participatory research, Intangible heritage, Philippines

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

THE ROLE OF FILIPINO CINEMA IN SHAPING NATIONAL IDENTITY IN THE 21ST CENTURY

Prof. Dr. Juan Bautista[1], Elena Garcia[2], Marco Lopez[1]
[1]University of the Philippines Diliman, College of Mass Communication, Film Institute, Quezon City, Philippines
[2]De La Salle University, College of Liberal Arts, Department of Communication, Manila, Philippines

ABSTRACT

Cinema has long been one of the most influential cultural forms in the Philippines, shaping popular imagination, collective memory and conceptions of what it means to be Filipino. The legacy of directors such as Lino Brocka and Ishmael Bernal established a tradition of socially conscious filmmaking that addressed urban poverty, injustice and political repression. In the twenty-first century, the industry has been transformed by digital filmmaking technologies, the rise of independent film festivals such as Cinemalaya, the global visibility of directors such as Brillante Mendoza and Lav Diaz, and the growing influence of streaming platforms. These changes have diversified the stories, languages and regional perspectives represented on screen. This study examined the role of Filipino cinema in shaping national identity in the twenty-first century. Drawing on film studies, cultural studies and theories of national cinema, the research combined textual analysis of selected mainstream and independent films with interviews involving filmmakers, critics, festival organisers, educators and audiences. The analysis focused on representations of history, family, religion, migration, class, gender and regional identity. The findings reveal that independent cinema has expanded the boundaries of national identity by foregrounding marginalised communities, regional languages and critical engagements with colonial and authoritarian histories. Films dealing with overseas Filipino workers have articulated the experience of a nation shaped by diaspora and separation. Mainstream romantic comedies and family dramas, meanwhile, continue to reinforce shared values of kinship, resilience and faith, reaching large audiences. Streaming platforms have increased international circulation but also raised concerns about market concentration and the pressures of global formats. The approach proved transferable to comparable settings elsewhere in the wider region. The study concludes that Filipino cinema functions as a contested space in which multiple versions of national identity are negotiated, and recommends stronger support for diverse film production and film education.

Keywords: Filipino cinema, National identity, Independent film, Diaspora, Film culture, Philippines

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

VISUAL NARRATIVES IN FILIPINO CONTEMPORARY PHOTOGRAPHY AND URBAN TRANSFORMATION

Dr. Teresa Aquino[1], Paolo Mendoza[2]
[1]Mapúa University, School of Media and Arts, Department of Digital Film and Photography, Manila, Philippines
[2]Far Eastern University, Institute of Architecture and Fine Arts, Department of Fine Arts, Manila, Philippines

ABSTRACT

Rapid urban transformation in the Philippines has reshaped the physical and social fabric of its cities. In Metro Manila, the expansion of business districts, gated communities, shopping malls and transport infrastructure has taken place alongside the persistence of informal settlements, congested streets and vulnerable riverside communities. These contrasts have become a major subject for contemporary Filipino photographers, who use the camera to document, interpret and question the consequences of development. Photography, circulated through exhibitions, photobooks, journalism and social media, has thus become an important medium for constructing visual narratives about the city and its inhabitants. This study examined visual narratives in contemporary Filipino photography and their relationship to urban transformation. Drawing on visual culture theory, documentary studies and urban sociology, the research combined analysis of selected photographic series and photobooks with interviews involving documentary photographers, photojournalists, fine art photographers, curators and residents of photographed communities. The analysis focused on themes such as displacement and demolition, labour and informal economies, public transport, flooding and disaster, nightlife and the changing urban skyline. The findings indicate that photographers construct narratives that reveal the hidden costs of development, giving visibility to communities often excluded from official representations of progress. Long-term engagement with neighbourhoods allowed photographers to move beyond images of victimhood toward portrayals of resilience, solidarity and everyday creativity. Fine art photographers employed staged and conceptual approaches to explore memory, alienation and the disappearance of familiar places. However, participants raised ethical concerns regarding consent, the aestheticisation of poverty and the power relations between photographers and subjects. Social media expanded audiences but also accelerated the consumption of images. Implementation varied considerably. Documentation of local knowledge was identified as a clear priority. The study argues that contemporary photography offers a critical archive of urban change and recommends collaborative and ethically grounded photographic practices.

Keywords: Contemporary photography, Visual narratives, Urban transformation, Documentary practice, Visual ethics, Metro Manila

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

TRADITIONAL WEAVING TECHNIQUES AND THEIR INTEGRATION INTO MODERN FILIPINO FASHION DESIGN

Assoc. Prof. Dr. Regina Salazar[1], Isabel Cruz[2], Daniel Torres[1], Maria Velasco[2]
[1]University of the Philippines Diliman, College of Home Economics, Department of Clothing, Textiles and Interior Design, Quezon City, Philippines
[2]Philippine Women's University, School of Fashion and the Arts, Manila, Philippines

ABSTRACT

The Philippines is home to a remarkable variety of handwoven textiles produced by communities across the archipelago. Examples include the inabel of the Ilocos region, the t'nalak of the T'boli people woven from abaca, the colourful geometric textiles of the Yakan, the piña cloth of Aklan and the hablon of Iloilo. Each tradition reflects specific knowledge of fibres, looms, dyeing methods and patterns that carry cultural meanings related to identity, cosmology and social status. As global interest in sustainable and slow fashion increases, Filipino designers have increasingly incorporated these textiles into contemporary garments, from formal wear such as the barong Tagalog to everyday ready-to-wear and accessories. This study examined the integration of traditional weaving techniques into modern Filipino fashion design. A qualitative research design was adopted, involving fieldwork in weaving communities, interviews with weavers, designers, cooperative leaders, retailers and government cultural agencies, and analysis of selected fashion collections. The study explored design processes, collaboration models, pricing, intellectual property and consumer perceptions. The findings clearly indicate that integration into fashion has increased demand for handwoven textiles and provided additional income for weaving households, particularly women. Designers valued the texture, durability and cultural narratives of woven fabrics, adapting them through tailoring, colour innovation and combinations with other materials. Successful collaborations were characterised by co-design, advance payments, transparent pricing and acknowledgement of weavers as creators. However, challenges included inconsistent supply, the shortage of young weavers, the high cost of natural fibres and the misuse of sacred patterns without community permission. The study therefore concludes that fashion can contribute to safeguarding weaving traditions when guided by ethical partnerships, and recommends training programmes, collective trademarks and policies recognising indigenous cultural rights.

Keywords: Traditional weaving, Filipino textiles, Fashion design, Sustainable fashion, Cultural rights, Philippines

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

AFRICAN MASK ART AND ITS INFLUENCE ON CONTEMPORARY SENEGALESE SCULPTURE

Prof. Dr. Mamadou Diop[1], Aissatou Ndiaye[2]
[1]Université Gaston Berger de Saint-Louis, Faculty of Civilizations, Religions, Arts and Communication, Department of Arts, Saint-Louis, Senegal
[2]École Nationale des Arts et Métiers de la Culture, Department of Visual Arts, Dakar, Senegal

ABSTRACT

Masks occupy a central place in many African artistic and religious traditions, serving as instruments of ritual, social regulation, initiation, entertainment and communication with ancestral and spiritual forces. In Senegal and the wider Senegambian region, mask traditions such as the Kumpo and Kankurang of the Jola and Mandinka peoples are associated with initiation, protection and community order, and the Kankurang has been recognised by UNESCO as intangible cultural heritage. African masks also had a profound influence on European modernism, inspiring artists such as Picasso and the Cubists, a history that has long been interpreted through a Eurocentric lens. Contemporary Senegalese sculptors engage with this complex legacy, drawing on the forms, materials and meanings of masks while reinterpreting them in new artistic contexts. This study examined African mask art and its influence on contemporary Senegalese sculpture. A qualitative approach was adopted, combining art historical and iconographic analysis with interviews involving sculptors, ritual practitioners, curators, art educators and collectors in Dakar, Saint-Louis and Casamance. Selected works by established and emerging sculptors were analysed in terms of form, material, symbolism and context of display. The findings indicate that contemporary sculptors appropriate the formal vocabulary of masks, including stylised facial features, geometric abstraction and the combination of natural materials, while separating these forms from their ritual functions. Many artists use recycled metal, wood and found objects to create mask-inspired works that comment on urbanisation, consumption, migration and spiritual loss. Some practitioners expressed concern that the commercialisation of mask imagery for tourist markets undermines its sacred significance. Implementation varied considerably. The study argues that contemporary sculpture enables a reappropriation of mask heritage by African artists themselves, and recommends greater dialogue between artists and ritual custodians.

Keywords: African masks, Contemporary sculpture, Ritual art, Kankurang, Cultural heritage, Senegal

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

THE ROLE OF MUSIC AND PERFORMANCE ART IN SENEGAL'S CULTURAL IDENTITY FORMATION

Dr. Ousmane Fall[1], Cheikh Gueye[2], Fatou Sow[1]
[1]Université Gaston Berger de Saint-Louis, Faculty of Civilizations, Religions, Arts and Communication, Department of Music and Performing Arts, Saint-Louis, Senegal
[2]Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculty of Letters and Human Sciences, Department of Sociology, Dakar, Senegal

ABSTRACT

Music and performance occupy a central place in Senegalese social life, accompanying religious celebrations, family ceremonies, wrestling matches, political gatherings and everyday sociability. The griot tradition, in which hereditary musicians and orators preserve genealogies, history and moral teachings, has long served as a pillar of cultural memory. Instruments such as the sabar drum and the kora, together with dance and oral poetry, express values of community, honour and belonging. In the modern period, genres such as mbalax, popularised by artists including Youssou N'Dour, and a vibrant hip-hop movement have given new voice to urban youth and connected Senegal to global music scenes. This study examined the role of music and performance art in the formation of Senegal's cultural identity. A qualitative and ethnomusicological approach was adopted, combining participant observation of performances, ceremonies and festivals with interviews involving griots, musicians, dancers, producers, cultural officials and audience members in Dakar, Saint-Louis and rural areas. The research also analysed song lyrics and performance repertoires. The findings indicate that music and performance function as key mediums through which Senegalese people negotiate the relationship between tradition and modernity, religion and secular life, and local and global influences. Griots continue to play an important social role, although their position has been transformed by commercial markets and media. Mbalax has become a symbol of national identity, blending sabar rhythms with modern instrumentation and Wolof lyrics. Hip-hop artists have used music as a platform for civic engagement, contributing to political mobilisation and youth activism. Sufi devotional music strengthens religious identity within brotherhoods. However, artists face challenges including limited copyright protection and unequal access to markets. Regional differences were clearly evident. The study recommends cultural policies that support artists and safeguard performance traditions.

Keywords: Music, Performance art, Cultural identity, Griot tradition, Mbalax, Senegal

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

SUSTAINABLE HOUSING SOLUTIONS FOR RAPID URBANIZATION IN LAGOS METROPOLITAN AREA

Funmilayo Okafor[1], Emeka Nwosu[2], Prof. Dr. Chidi Okonkwo[2], Blessing Adeyemi[1], Dr. Tunde Bakare[1]

[1]University of Lagos, Faculty of Environmental Sciences, Department of Architecture, Akoka, Lagos, Nigeria

[2]University of Nigeria, Nsukka, Faculty of Environmental Studies, Department of Urban and Regional Planning, Enugu Campus, Nigeria

ABSTRACT

Lagos is experiencing one of the most rapid processes of urbanisation in the world, driven by natural population growth, rural-urban migration and the city's role as the economic centre of Nigeria. This growth has produced a severe housing deficit, rising rents, overcrowding and the expansion of informal settlements, many of which lack secure tenure, adequate sanitation, drainage and access to basic services. Conventional housing delivery, dominated by high-cost private development and limited public provision, has failed to meet the needs of low- and middle-income households. At the same time, flooding, coastal erosion and rising temperatures increase the vulnerability of residents and highlight the need for housing that is both affordable and environmentally sustainable. This study examined sustainable housing solutions for rapid urbanisation in the Lagos Metropolitan Area. A mixed-methods design was employed, combining a household survey in selected formal and informal neighbourhoods with interviews involving architects, planners, developers, housing cooperatives, community leaders and officials of state housing agencies. The research also evaluated case studies of recent housing projects, incremental housing schemes and settlement upgrading initiatives. The findings indicate that high land costs, complex titling procedures, limited access to mortgage finance and dependence on imported building materials are major barriers to affordable housing. Projects that used locally produced materials such as compressed stabilised earth blocks, adopted passive cooling strategies and incorporated rainwater harvesting achieved lower construction and operating costs while improving indoor comfort. Incremental and cooperative housing models allowed households to build progressively according to their means. However, forced evictions and weak enforcement of planning regulations undermined trust in public programmes. Results remained stable under alternative analytical specifications. The study recommends land tenure reform, expanded housing finance, support for local material industries and participatory upgrading of informal settlements.

Keywords: Sustainable housing, Rapid urbanization, Affordable housing, Informal settlements, Local building materials, Lagos

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

STRUCTURAL INTEGRITY ASSESSMENT OF HIGH-RISE BUILDINGS IN NIGERIAN SEISMIC ZONES

Dr. Amina Yusuf[1], Ibrahim Musa[2]
[1]Ahmadu Bello University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Zaria, Nigeria
[2]Federal University of Technology Minna, School of Infrastructure, Process Engineering and Technology, Department of Civil Engineering, Minna, Nigeria

ABSTRACT

Nigeria has traditionally been regarded as a region of low seismic activity, and as a result seismic considerations have rarely been incorporated into the design of buildings. However, the occurrence of minor earthquakes and tremors in several parts of the country, including areas around Abuja, Kaduna and the southwestern region, has raised concerns about the vulnerability of the built environment. Rapid urban growth has led to the construction of an increasing number of high-rise buildings, many of which have been designed primarily for gravity and wind loads. Frequent building collapses, often linked to poor construction quality, substandard materials and weak regulatory oversight, further intensify concerns about structural safety. This study assessed the structural integrity of high-rise buildings located in areas of Nigeria identified as having moderate seismic potential. The research combined a review of available seismic hazard information with field inspections, non-destructive testing and numerical modelling of selected reinforced concrete buildings. Rebound hammer and ultrasonic pulse velocity tests were used to estimate concrete quality, while reinforcement detailing was examined where design documents and site access allowed. Linear and nonlinear static analyses were conducted to evaluate the response of the buildings under seismic loading scenarios. The findings indicate that many of the assessed buildings exhibited deficiencies such as inadequate confinement reinforcement, soft-storey configurations, irregular layouts and variable concrete strength. Under simulated seismic actions, these weaknesses resulted in concentrated damage in columns and beam-column joints, suggesting a risk of brittle failure. Buildings designed with more recent codes and better supervision performed considerably better. Implementation varied considerably. The study recommends incorporating seismic provisions into the national building code, strengthening quality control and supervision, and retrofitting vulnerable structures through jacketing, bracing or shear wall addition.

Keywords: Structural integrity, High-rise buildings, Seismic vulnerability, Reinforced concrete, Non-destructive testing, Nigeria

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

EARTHQUAKE-RESISTANT DESIGN METHODOLOGIES FOR UKRAINIAN URBAN INFRASTRUCTURE

Prof. Dr. Oleksandr Shevchenko[1], Natalia Kovalenko[1], Andriy Melnyk[2]
[1]Kyiv National University of Construction and Architecture, Faculty of Construction, Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Kyiv, Ukraine
[2]Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Faculty of Civil Engineering, Department of Structural Mechanics, Odesa, Ukraine

ABSTRACT

Although much of Ukraine lies in a region of low to moderate seismicity, several areas, including the Carpathian region, the Black Sea coast, Odesa and Crimea, are exposed to significant earthquake hazards, partly associated with deep seismic sources in the Vrancea zone of Romania. A large share of the urban building stock and infrastructure was constructed during the Soviet period using standardised large-panel and frame systems, many of which were designed according to outdated seismic provisions or without adequate consideration of dynamic loads. Ageing materials, insufficient maintenance and modifications introduced by occupants have further increased vulnerability. As Ukraine aligns its construction standards with European norms and plans extensive reconstruction, the adoption of modern earthquake-resistant design methodologies has become a priority. This study examined earthquake-resistant design methodologies for Ukrainian urban infrastructure, with a focus on residential buildings, bridges and critical public facilities. The research combined a review of national and European design codes, including Eurocode 8, with case studies of representative structures in seismically active regions. Numerical modelling was conducted using response spectrum and nonlinear time-history analyses to compare the performance of existing structures with those designed according to performance-based approaches. The findings indicate that many existing large-panel buildings suffer from weak connections between panels and limited ductility, while older bridges are vulnerable to bearing failure and unseating. Performance-based design, capacity design principles and the use of base isolation and energy dissipation devices significantly improved simulated structural behaviour. Retrofitting strategies such as steel bracing, fibre-reinforced polymer strengthening and improved connection detailing were found to be effective and economically feasible. Local conditions clearly mattered. The study recommends harmonising national standards with Eurocode 8, updating seismic hazard maps and integrating seismic resilience into reconstruction planning.

Keywords: Earthquake-resistant design, Seismic retrofitting, Performance-based design, Eurocode 8, Urban infrastructure, Ukraine

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

ENERGY-EFFICIENT BUILDING MATERIALS FOR POST-CONFLICT RECONSTRUCTION IN UKRAINE

Assoc. Prof. Dr. Iryna Petrenko[1], Viktor Bondarenko[2]
[1]Lviv Polytechnic National University, Institute of Architecture and Design, Department of Architectural Design, Lviv, Ukraine
[2]O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Faculty of Construction, Department of Building Technologies, Kharkiv, Ukraine

ABSTRACT

The war in Ukraine has caused extensive damage to residential buildings, schools, hospitals and energy infrastructure, creating an unprecedented need for reconstruction. At the same time, attacks on power generation and heating systems have exposed the vulnerability of a building stock that is largely energy-inefficient, much of it constructed during the Soviet era with poor thermal insulation and outdated heating systems. Reconstruction therefore presents an opportunity not merely to restore what was lost but to build back better, creating buildings that consume less energy, reduce dependence on centralised supply and contribute to the country's climate and European integration goals. The choice of building materials is central to achieving these objectives. This study examined energy-efficient building materials suitable for post-conflict reconstruction in Ukraine. The research combined a review of material properties and European energy performance requirements with laboratory testing, thermal simulation of typical residential buildings and interviews with architects, contractors, material producers and municipal reconstruction officials. Materials evaluated included autoclaved aerated concrete, mineral wool and wood fibre insulation, cross-laminated timber, recycled aggregates from demolition waste and high-performance window systems. The findings clearly indicate that combining improved envelope insulation, airtight construction and efficient glazing can substantially reduce heating demand in reconstructed buildings. Recycled concrete and masonry from destroyed structures proved suitable for non-structural applications and foundations, lowering costs and environmental impacts. Timber-based systems offered rapid construction and low embodied carbon, although fire safety regulations and limited local production capacity remain constraints. Contractors emphasised the importance of domestic manufacturing, clear technical standards and skilled labour. The study recommends prioritising locally produced, low-carbon materials, establishing standards for recycled materials and integrating energy efficiency requirements into reconstruction financing programmes.

Keywords: Energy-efficient materials, Post-conflict reconstruction, Thermal insulation, Recycled aggregates, Building back better, Ukraine

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

CLIMATE-ADAPTIVE ARCHITECTURE FOR ETHIOPIAN HIGHLAND COMMUNITIES

Dr. Abebe Tadesse[1], Hanna Gebre[1], Prof. Dr. Solomon Bekele[2]
[1]Addis Ababa University, Ethiopian Institute of Architecture, Building Construction and City Development, Addis Ababa, Ethiopia
[2]Mekelle University, Ethiopian Institute of Technology, School of Civil Engineering and Architecture, Mekelle, Ethiopia

ABSTRACT

The Ethiopian highlands are home to a large proportion of the country's population and are characterised by cool temperatures, intense solar radiation, marked rainy and dry seasons and considerable variation across altitudes. Traditional architecture in these regions, including the circular tukul, the rectangular hidmo of Tigray and the earth and timber houses of Amhara and Oromia, evolved over centuries to respond to local climate, materials and social practices. In recent decades, however, the spread of corrugated iron roofs, concrete blocks and imported building models has transformed rural and peri-urban settlements, often resulting in poor thermal comfort, overheating during the day and cold interiors at night. Climate change, which brings increasingly erratic rainfall, heavier storms and rising temperatures, further heightens the need for architecture that is adapted to local conditions. This study examined climate-adaptive architecture for Ethiopian highland communities by comparing vernacular and contemporary building types. The research combined field surveys of dwellings in selected highland villages and small towns with indoor environmental monitoring, thermal simulation and interviews with residents, local builders and architects. The analysis focused on building orientation, envelope materials, roof forms, ventilation strategies and the use of space. The findings indicate that vernacular houses with thick earth or stone walls and thatched roofs provided more stable indoor temperatures than modern houses with thin block walls and metal roofs. Residents nevertheless preferred modern materials for reasons of durability, social status and reduced maintenance. Hybrid designs that combined improved earth construction, insulated roofs, passive solar orientation and rainwater harvesting offered both comfort and durability. The study recommends promoting climate-responsive design guidelines, training local builders and integrating vernacular knowledge into housing programmes.

Keywords: Climate-adaptive architecture, Vernacular architecture, Thermal comfort, Passive design, Highland communities, Ethiopia

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

INNOVATIVE CONSTRUCTION TECHNIQUES FOR AFFORDABLE HOUSING IN ADDIS ABABA

Assis. Prof. Dr. Tigist Haile[1], Dawit Alemu[1], Meron Tsegaye[2]
[1]Addis Ababa Science and Technology University, College of Architecture and Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Addis Ababa, Ethiopia
[2]Addis Ababa University, Ethiopian Institute of Architecture, Building Construction and City Development, Addis Ababa, Ethiopia

ABSTRACT

Addis Ababa faces a persistent shortage of affordable housing as a result of rapid population growth, rural-urban migration and rising land and construction costs. The government's Integrated Housing Development Programme, centred on condominium construction, has delivered a substantial number of housing units and contributed to urban renewal, yet demand continues to exceed supply, and many low-income households remain unable to afford the required down payments. Construction in the city relies heavily on conventional reinforced concrete frames and hollow concrete block infill, which require large quantities of cement and steel, much of which is imported or subject to price volatility. Innovative construction techniques offer the potential to reduce costs, accelerate delivery and improve quality. This study examined innovative construction techniques for affordable housing in Addis Ababa. A mixed-methods approach was adopted, combining a review of current housing delivery practices with case studies of pilot projects, cost analyses and interviews with contractors, engineers, housing officials, material producers and residents. The techniques evaluated included precast concrete panels, interlocking stabilised soil blocks, light-gauge steel framing, bamboo-reinforced elements and modular construction methods. The findings indicate that prefabrication and standardised components can significantly shorten construction time and reduce material waste, while interlocking soil blocks lower cement consumption and labour requirements. Bamboo, which is widely available in Ethiopia, showed promise for non-load-bearing and roofing applications, although further research on durability and treatment is required. Barriers to adoption included the lack of specific building standards, limited technical capacity among small contractors, conservative attitudes among clients and insufficient investment in local manufacturing. Seasonal conditions strongly influenced the outcomes. The study recommends developing standards for alternative materials, training programmes for builders, incentives for local production and the integration of innovative techniques into public housing programmes.

Keywords: Affordable housing, Innovative construction, Prefabrication, Stabilized soil blocks, Bamboo, Addis Ababa

IZMIR ISCS 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
October 2 - 4, 2026 - IZMIR
ISBN NR. : 978-625-8795-52-3

WATER MANAGEMENT SYSTEMS IN SUSTAINABLE URBAN PLANNING FOR ETHIOPIAN CITIES

Prof. Dr. Yohannes Kebede[1], Almaz Desta[2], Lemlem Tesfaye[1], Samuel Fikre[2]
[1]Arba Minch University, Water Technology Institute, Faculty of Water Resources and Irrigation Engineering, Arba Minch, Ethiopia
[2]Ethiopian Civil Service University, Institute of Urban Development Studies, Department of Urban Planning, Addis Ababa, Ethiopia

ABSTRACT

Ethiopian cities are expanding rapidly, and this growth is placing intense pressure on water supply, sanitation and drainage systems. Many urban residents experience intermittent water supply, long queues at public taps and dependence on costly vendors, while inadequate sewerage and solid waste management contribute to the pollution of rivers and groundwater. At the same time, increasingly intense rainfall events cause flash flooding in low-lying neighbourhoods, damaging property and infrastructure. These challenges are particularly acute in Addis Ababa and in fast-growing secondary cities such as Hawassa, Bahir Dar, Adama and Dire Dawa. Integrating water management into urban planning is therefore essential for achieving sustainable, healthy and resilient cities. This study examined water management systems within the framework of sustainable urban planning for Ethiopian cities. The research combined analysis of urban master plans, water utility data and policy documents with field surveys, geographic information system mapping of drainage and land use, and interviews with planners, engineers, utility managers, community representatives and residents. The analysis addressed water supply reliability, wastewater treatment, stormwater management, groundwater use and the potential of nature-based solutions. The findings indicate that water infrastructure has often lagged behind urban expansion, with peri-urban areas and informal settlements receiving the poorest services. Planning and water management institutions frequently operate separately, resulting in limited coordination between land use decisions and infrastructure investment. Rainwater harvesting, permeable surfaces, constructed wetlands and the protection of riverbanks were identified as cost-effective measures for reducing flood risk and supplementing supply. Recent riverside development projects demonstrated the potential of green infrastructure, although concerns about displacement and maintenance were raised. Documentation of local knowledge was identified as a clear priority. The study recommends adopting integrated urban water management, strengthening institutional coordination, expanding decentralised systems and involving communities in planning and maintenance.

Keywords: Urban water management, Sustainable urban planning, Stormwater, Nature-based solutions, Water supply, Ethiopia

ISBN NR. : 978-625-8795-52-3