CONFERENCE BOOK



AVRASYA

16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

OCTOBER 8 – 13, 2026
TASHKENT

ISBN : 978-625-8795-54-7

ACADEMY GLOBAL PUBLISHING HOUSE

AVRASYA 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
OCTOBER 8 – 13, 2026
TASHKENT

Edited By
PROF. DR. HULYA CICEK

Issued: 25.10.2026
ISBN NR. : 978-625-8795-54-7

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

In the conference 28 papers have been presented by Turkish participants and 37 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.avrasyakongresi.org Contact: avrasyakongresi@gmail.com

CONFERENCE ID

AVRASYA 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE
OCTOBER 8 – 13, 2026
TASHKENT

ORGANIIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

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

PARTICIPATING COUNTRIES
Turkey – Spain – Ethiopia – Morocco – Kazakhstan- North Macedonia- Nigeria – Singapore – Taiwan – Uzbekistan – Bangladesh – Egypt – Norway – Lithuania – Pakistan - Serbia-

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

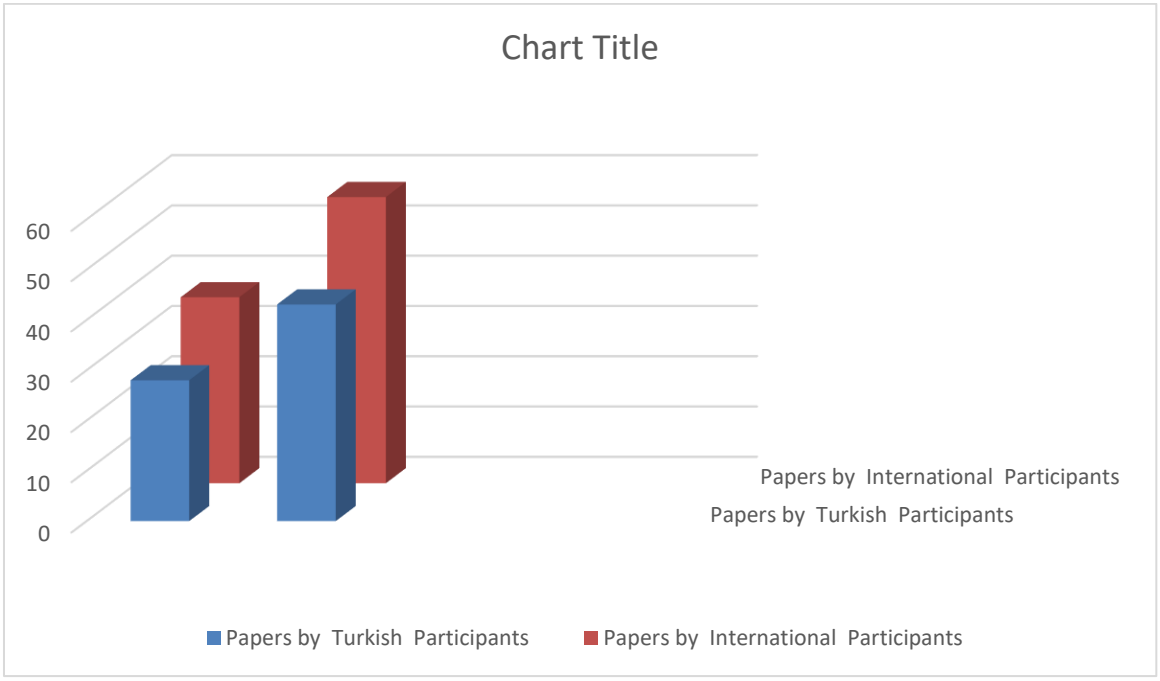
Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	Number of paper	*%*
Papers by Turkish Participants	28	43,08
Papers by International Participants (15 Countries)	37	56,92



AVRASYA 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
OCTOBER 8 – 13, 2026
TASHKENT

NO : **AC- 16A - 2026. 364T– 3873**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi 20/10/2026

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **AVRASYA 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES** kongresi 8-13 Ekim 2026 tarihlerinde Taşkent'de 16 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 65 bildirinin 28'i Türkiye'den, 37'si ise farklı 15 ülkeden katılan akademisyenler tarafından sunulmuştur. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun olarak düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz ederiz

Saygılarımızla

Prof. Dr. Hülya Çiçek

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.

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ArtAsya 6TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
October 8 – 13, 2026
TASHKENT

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,

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Dildoraxon Mamadaliyeva**	1	IMPROVING THE DIGITAL MEDIA-METHODOLOGICAL COMPETENCE OF PRESCHOOL EDUCATORS IN INCLUSIVE EDUCATION SETTINGS	Dildoraxon Mamadaliyeva
		2	NATIONAL CADRE POLICY AND ETHNIC COMPOSITION DYNAMICS IN THE HIGHER EDUCATION OF THE UZBEK SSR DURING THE POST-WORLD WAR II YEARS	Dilnoza Akhmadjonova Azamjonovna
		3	VOLUNTEERING AND PSYCHOLOGICAL WELL-BEING: A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR UNDERSTANDING PROSOCIAL ENGAGEMENT AMONG UNIVERSITY STUDENTS	Maxliyo Bobajanova
		4	COLLABORATIVE TECHNOLOGY IN TEACHING THE TOPIC “VERB- FORMING SUFFIXES” IN 3RD-GRADE NATIVE LANGUAGE LESSONS IN CONNECTION WITH NATURAL SCIENCE	Rajabova Xurshida Hakimovna
		5	ARGOTISMS IN TOHIR MALIK’S WORKS: (BASED ON THE NOVEL SHAYTANAT)	Abdullayeva Aminaxon Abdumalik qizi

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Abdugʻaniyev Javohirmirzo Davlatmirza oʻgʻli**	1	LINGUOPOLITICAL FUNCTIONS OF DIPLOMATIC TERMINOLOGY IN UZBEKISTAN'S FOREIGN POLICY: CONTEMPORARY DIMENSIONS	Abdugʻaniyev Javohirmirzo Davlatmirza oʻgʻli
		2	STATE ADMINISTRATION AND THE FORMATION OF A CENTRALIZED POLITICAL SYSTEM DURING THE REIGN OF AMIR TIMUR	Abduqahorov Anvarjon Alijon o'g'li
		3	THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL BRANCHES IN THE TASHKENT ECONOMIC REGION (1950–1980)	Toirova Zamira Subanovna
		4	Innovative and Modern Development of the Construction Materials Market: Global Trends and Implications for Uzbekistan	Ergashev Jamoliddinxon Sadriddinxon o'g'li,

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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. Gültekin Gürçay**	1	SOCIAL EXCLUSION AND JUSTICE IN VICTOR HUGO'S "A CONDEMNED MAN"	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		2	EXAMINING OF MEASUREMENT AND EVALUATION KNOWLEDGE OF MATHEMATICS TEACHERS WORKING IN PRIVATE EDUCATIONAL INSTITUTIONS: THE CASE OF THE FUNCTION CONCEPT	Emre TEMUR Yasin SOYLU,
		3	EXAMINING OF CURRICULUM KNOWLEDGE OF MATHEMATICS TEACHERS WORKING IN PRIVATE EDUCATIONAL INSTITUTIONS: THE CASE OF THE FUNCTION CONCEPT	Emre TEMUR Yasin SOYLU,
		4	THE TRANSFORMATİON OF VALUES: A THEORETİCAL EXAMİNATİON FROM TRADİTİON TO POST-TRUTH	Ph.D. Mustafa Oruç Doç. Dr. Tolga Seki Prof. Dr. Bülent Dilmaç
		5	THE HOLİSTİC INTERACTİON BETWEEN VALUES AND EMOTİONS	Ph.D. Mustafa Oruç Doç. Dr. Tolga Seki Prof. Dr. Bülent Dilmaç
		6	ŞUMNU'YA BAĞLI KÖKLÜCE TOPONİMİSİNİN TÜRKÇE KÖKENLİ KATMANI	Doç. Dr. Menent Şukrieva Öğr. Gör. Bülent Kırcalı
		7		

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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. Öğr. Üyesi Hatice DURAN OKUR**	1	From Sustainable Systems to Sustainable Selves: A Critical Sociology of the Sustainable Development Goals and Inner Development Goals	Dr. Eren ALKAN
		2	THE TRANSFORMATION OF EMOTIONS IN DIGITAL COMMUNICATION: A SOCIOLOGICAL ANALYSIS OF DIGITAL MEDIATION AND EMOTIONAL PRACTICES	Dr. Öğr. Üyesi Hatice DURAN OKUR
		3	MODERN TOPLUMDA KOMŞULUĞUN DÖNÜŞÜMÜ: MİNİMA MORALİA'DA YAKINLIK, MESAFE VE GÜNDELİK İLİŞKİLER	Dr. Öğr. Üyesi Melek COŞGUN SOLAK
		4	MODERN TOPLUMDA BİREYSELLİĞİN DÖNÜŞÜMÜ: TEK BOYUTLU İNSAN BAĞLAMINDA DİNÎ HAYAT VE BİREY-TOPLUM İLİŞKİSİ	Dr. Öğr. Üyesi Melek COŞGUN SOLAK
		5	DENETIMLI SERBESTLIK SÜRECINDE SOSYAL HIZMET UYGULAMALARI: KURAMSAL BIR ÇERÇEVE	Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DOĞAN Dr. Öğr. Üyesi Resul DURAN Dr. Öğr. Üyesi Ahmet USANMAZ Dr. Öğr. Üyesi Recep BOZKURT
		6	NEET GENÇLİĞİ: YENİ BİR GENÇLİK ALT KÜLTÜRÜ MÜ?	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet USANMAZ Dr. Öğr. Üyesi Recep BOZKURT Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DOĞAN Dr. Öğr. Üyesi Resul DURAN

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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 Yunus FURUNCU**	1	AB TEK KULLANIMLIK PLASTİK DİREKTİFİ VE TÜKETİCİ DAVRANIŞ DEĞİŞİMİ: ÇERÇEVELEME ETKİLERİ VE "PLASTİK VERGİSİ" İLE "ÇEVRE KATKISI" MESAJLARININ KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRMESİ	Dr. Özlem TAN Dr. Kader EROL
		2	GDPR VE DAVRANIŞSAL PAZARLAMA ETİĞİ: "COOKIE CONSENT" TASARIMINDA VARSAYILAN SEÇENEKLER VE TÜKETİCİ DAVRANIŞI ÜZERİNE BİR ANALİZ	Dr. Kader EROL Dr. Özlem TAN
		3	BRAND VALUE AND BRAND EQUİTY: CONCEPTUAL DİSTİNCTİONS AND AN EXAMİNATİON FROM THE PERSPECTİVE OF MARKETİNG MANAGEMENT	Öğr. Gör. Dr. Merve BABAL
		4	GLOBAL CLİMATE GOVERNANCE LEADİNG UP TO COP31: AGENDA, EXPECTATİONS AND KEY DEBATES	Öğr. Gör. Dr. Merve BABAL
		5	STRATEJİK İTTİFAKLARDA DEĞER YARATMA VE PAYLAŞIMI: ORTAK SEÇİMİ, GÜVEN VE YÖNETİŞİM	Dr. Öğr. Üyesi Yunus FURUNCU
		6		

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Prof. Dr. Mehmet YÜCE**	1	THE EFFECTS OF ZERO-WASTE PROJECTS ON BUSINESS COSTS	Abdullah YILDIZ
		2	YÜKSEKÖĞRETİM ÖĞRENCİLERİNDE TEMEL FİNANSAL BİLGİ: CİNSİYET VE KUŞAK FARKLILIKLARI	Doç. Dr. Meryem ÖZTÜRK
		3	BELİREN YETİŞKİNLERDE FİNANSAL DAVRANIŞ VE YAŞAM DOYUMU: HİYERARŞİK REGRESYON ANALİZİ	Doç. Dr. Meryem ÖZTÜRK
		4	ENDÜSTRİ 4.0 OLGUNLUK DÜZEYİ: İŞLETME ÖZELLİKLERİ BAĞLAMINDA FARKLILIK TESPİTİ	Bilim Uzmanı, Pınar TOPÇUOĞLILAR Prof. Dr. Gökhan KERSE
		5	The Construction of a Common Media Ecosystem in the Turkic World: A Strategic Communication and Digital Integration Perspective	Prof. Dr. Mehmet YÜCE

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Doç. Dr. Harun KIRILMAZ**	1	THE IMPACT OF CIVIC LITERACY ON INSTITUTIONAL TRUST: AN EMPIRICAL ANALYSIS OF THE CASE OF KAZAKHSTAN	Doç. Dr. Harun KIRILMAZ
		2	THE RELATIONSHIP BETWEEN ARTIFICIAL INTELLIGENCE ANXIETY, PERCEIVED RISK, AND INTENTION TO USE THE SYSTEM: AN ANALYSIS OF PUBLIC OFFICIALS IN KAZAKHSTAN	Doç. Dr. Harun KIRILMAZ
		3	SOSYAL BELEDİYECİLİĞİN ANAYASAL VE HUKUKİ ÇERÇEVESİ VE YEREL DÜZEYDE SOSYAL HAKLARIN SINIRLARI	Yüksek Lisans Öğrenci Türkan DİNÇAY Dr. Öğretim Üyesi Gözde KILIÇ YAŞIN
		4	DİJİTAL KÖLELİKTEN DİJİTAL ESENLİĞE: BAĞLANTIYI KOPARMA HAKKININ TÜRK İŞ HUKUKU VE SOSYAL POLİTİKA PERSPEKTİFİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	Dr.Öğr.Üyesi Muzaffer Özsoy
		5	DIGITAL HUMAN RESOURCE MANAGEMENT: A STUDY OF PUBLIC INSTITUTIONS IN THE UNITED STATES AND FRANCE	Dr. Öğretim Üyesi, ELİF EKİNCİ ÖZYARDIMCI Doç. Dr., FATMA YILMAZ KILIÇKAYA
		6	WOMEN AND LEADERSHIP IN PUBLIC ORGANIZATIONS: AN ANALYSIS BASED ON THE BELGIAN EXAMPLE	Doç. Dr., FATMA YILMAZ KILIÇKAYA Dr. Öğretim Üyesi, ELİF EKİNCİ ÖZYARDIMCI
		7	SCALE, SPACE, AND ADMINISTRATION: AN EVALUATION OF NEW PROVINCE DEMANDS IN TURKEY	Dr. Öğretim Üyesi Hülya Özçağlar Eroğlu, Prof. Dr., Ali Özçağlar
		8	GORBAÇOV'UN PERESTROYKA VE GLASNOST POLİTİKALARININ TÜRK CUMHURİYETLERİ BASININDAKİ ETKİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Fatma Betül Aydemir Baş
		9	DEMOKRASİ ÇALIŞMALARI, KAVRAM ANALİZİ VE NORMATİVİZM	Doç. Dr. Mehtap Söyler

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Öğr. Üyesi İlkay ERARSLAN**	1	ÜÇ BÜYÜK ŞOKUN GÖLGESİNDE TÜRKİYE EKONOMİSİ: COVID-19 PANDEMİSİ, 6 ŞUBAT DEPREMLERİ VE EYT DÜZENLEMESİNİN EKONOMİK BÜYÜME ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	Öğr. Gör. Furkan SEYİTHANOĞLU Dr. Öğr. Üyesi İsmet BOLAT Öğr. Gör. Çağrı ÖZTÜRK
		2	TÜRKİYE'DE DEZENFLASYON SÜRECİNDE BANKA KREDİLERİ VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİ: 2023–2025 DÖNEMİ	Dr. Öğr. Üyesi İsmet BOLAT Öğr. Gör. Furkan SEYİTHANOĞLU Öğr. Gör. Çağrı ÖZTÜRK
		3	AN ASSESSMENT OF THE MACROECONOMIC PERFORMANCE OF THE TURKISH ECONOMY IN THE POST-PANDEMIC PERIOD	Gülay ÖZER Doç. Dr. Sefa ÖZBEK
		4	ECONOMIC DEVELOPMENTS IN TÜRKİYE IN THE POST-PANDEMIC PERIOD: A LITERATURE REVIEW	Gülay ÖZER Doç. Dr. Sefa ÖZBEK
		5	Artificial Intelligence Applications and Operational Efficiency in UAE Banks: Literature Findings and a Measurement Framework	Doç. Dr. Vedat AKMAN Dr. Öznur Akman Dr. Öğr. Üyesi İlkay ERARSLAN
		6	Comparison of Machine Learning and Traditional Statistical Models in Bankruptcy Prediction	Dr. Vedat Akman Dr. Öğr. Üyesi İlkay ERARSLAN Dr. Öznur Akman
		7	21. YÜZYILDA DUKHA TÜRKLERİ'NİN İKTİSADİ HAYATI	Dr. Mehmet Şimşek

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Prof. Dr. Ana Stojanovska**	1	THE ROLE OF TRADITIONAL ORNAMENTAL MOTIFS IN CONTEMPORARY KAZAKH VISUAL ART EDUCATION	Prof. Dr. Aigerim Nurlanova Yerlan Suleimenov Dr. Dana Akhmetova
		2	REINTERPRETING NOMADIC AESTHETICS: DIGITAL MEDIA AND THE PRESERVATION OF CENTRAL ASIAN ARTISTIC HERITAGE	Assoc. Prof. Dr. Nurzhan Kaliyev Aliya Zhaksybekova Timur Abenov Gulnara Omarova Dr. Bekzat Tulegenov
		3	SYMBOLISM AND IDENTITY IN POST-BYZANTINE FRESCO PAINTING: A STUDY OF BALKAN SACRED SPACES	Prof. Dr. Ana Stojanovska Marko Petrovski
		4	THE INFLUENCE OF FOLK TEXTILE PATTERNS ON MODERN GRAPHIC DESIGN PRACTICES IN THE WESTERN BALKANS	Assist. Prof. Dr. Elena Trajkovska Nikola Dimitrov Ivana Georgieva Goran Nikolovski Dr. Marija Ristovska Aleksandar Jovanov
		5	MASQUERADE AS PERFORMANCE ART: RITUAL, COMMUNITY, AND CULTURAL CONTINUITY IN WEST AFRICAN TRADITIONS	Ngozi Eze Dr. Ibrahim Musa
		6	CONTEMPORARY NIGERIAN SCULPTURE AND THE NEGOTIATION OF POSTCOLONIAL IDENTITY IN PUBLIC SPACES	Assoc. Prof. Dr. Oluwaseun Adeyemi

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Assist. Prof. Dr. Fabrice Aïhonnou Léonie Tchibozo**	1	THE ROLE OF DIGITAL COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN SHAPING INTERPERSONAL TRUST AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN THE POST-PANDEMIC ERA	Dr. Dmitry Sokolov Anastasia Volkova Dr. Mikhail Popov
		2	CROSS-CULTURAL COMMUNICATION BARRIERS AND THEIR IMPACT ON INTERNATIONAL BUSINESS NEGOTIATIONS IN EMERGING MARKETS	Dr. Sylvain Adjovi Elena Kuznetsova
		3	THE INFLUENCE OF MOBILE COMMUNICATION PLATFORMS ON RURAL COMMUNITY DEVELOPMENT AND AGRICULTURAL KNOWLEDGE SHARING	Prof. Dr. Rodrigue Gbaguidi Célestin Dossou Assoc. Prof. Dr. Marie-Claire Houngbédji Kofi Ahouansou
		4	NONVERBAL COMMUNICATION PATTERNS IN TRADITIONAL CEREMONIES AND THEIR PRESERVATION THROUGH MODERN MEDIA	Assist. Prof. Dr. Fabrice Aïhonnou Léonie Tchibozo
		5	SOCIAL MEDIA COMMUNICATION STRATEGIES AND THEIR EFFECTS ON PUBLIC HEALTH AWARENESS CAMPAIGNS IN URBAN POPULATIONS	Prof. Dr. Budi Santoso Siti Rahmawati Agus Wijaya Dr. Dewi Lestari Rangga Pratama Assoc. Prof. Dr. Nurul Hidayah
		6	ORGANIZATIONAL COMMUNICATION CLIMATE AND EMPLOYEE ENGAGEMENT IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS	Assoc. Prof. Dr. Bambang Sutrisno Indah Permatasari
		7	INTERCULTURAL COMMUNICATION COMPETENCE AMONG MULTILINGUAL STUDENTS IN DIGITAL LEARNING ENVIRONMENTS	Dr. Andi Nugroho Fitri Handayani

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Assis. Prof. Dr. Wu Chia-**	1	COMPARATIVE ANALYSIS OF CONSTITUTIONAL SAFEGUARDS FOR DIGITAL PRIVACY RIGHTS IN POST-SOVIET LEGAL SYSTEMS	Prof. Dr. Aizhan Nurlanovna Serikbayeva Yerlan Baurzhanuly Tazhibayev Dr. Gulnara Amankeldiqyzy Omarova
		2	THE EVOLUTION OF CORPORATE GOVERNANCE FRAMEWORKS AND SHAREHOLDER PROTECTION UNDER EMERGING MARKET REGULATION **Assoc.**	Prof. Dr. Nurlan Serikuly Abenov Dinara Muratovna Kaliyeva
		3	LEGAL MECHANISMS FOR RESOLVING COMMERCIAL DISPUTES THROUGH ARBITRATION IN TRANSITIONAL ECONOMIES	Prof. Dr. Ahmed Abdullah Al-Hakimi Fatima Mohammed Al-Sabri Assis. Prof. Dr. Khaled Nasser Al-Maqtari Salem Ali Al-Awlaki
		4	JUDICIAL INDEPENDENCE AND THE RULE OF LAW DURING PERIODS OF POLITICAL INSTABILITY: A CRITICAL ASSESSMENT **Dr.**	Marwan Saleh Al-Dhamari Abdulrahman Hamid Al-Wasabi
		5	INTELLECTUAL PROPERTY ENFORCEMENT AND CROSS-BORDER LICENSING IN THE SEMICONDUCTOR INDUSTRY	Prof. Dr. Chen Wei-Chen Lin Mei-Ling Assoc. Prof. Dr. Huang Chih-Hao Wang Yu-Ting Dr. Tsai Ming-Jer
		6	REGULATORY APPROACHES TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE LIABILITY AND ALGORITHMIC ACCOUNTABILITY IN CIVIL LAW	Assis. Prof. Dr. Wu Chia-Ling Kuo Cheng-Yu
		7	ENVIRONMENTAL LAW AND CORPORATE COMPLIANCE OBLIGATIONS UNDER TRANSNATIONAL CLIMATE AGREEMENTS	Prof. Dr. Yang Hsiu-Chen Liu Kuan-Ting Dr. Cheng Shu-Fen Lai Wen-Hsiung
		8	THE INTERSECTION OF CONSTITUTIONAL RIGHTS AND PERSONAL DATA PROTECTION IN THE DIGITAL AGE	Prof. Dr. Rajesh Kumar Sharma Priya Ramesh Iyer Dr. Anil Kumar Verma

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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. Nabil Mansouri**	1	**THE IMPACT OF OIL PRICE VOLATILITY ON MACROECONOMIC STABILITY IN RESOURCE-DEPENDENT ECONOMIES**	Prof. Dr. Nurlan Abenov Aigerim Satybaldieva Assoc. Prof. Dr. Bauyrzhan Tulegenov
		2	**FOREIGN DIRECT INVESTMENT AND ECONOMIC GROWTH: EVIDENCE FROM TRANSITION MARKETS IN CENTRAL ASIA**	Zhanar Omarova Assis. Prof. Dr. Kairat Dzhaksybekov
		3	**MONETARY POLICY TRANSMISSION MECHANISMS AND INFLATION DYNAMICS IN EMERGING NORTH AFRICAN ECONOMIES**	Prof. Dr. Mohamed Ben Salah Amira Trabelsi Sami Gharbi Dr. Faten Bouzid Assoc. Prof. Dr. Nabil Mansouri
		4	**THE ROLE OF SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES IN REDUCING UNEMPLOYMENT AND FOSTERING REGIONAL DEVELOPMENT**	Rania Jelassi Dr. Khaled Hammami
		5	EXCHANGE RATE FLUCTUATIONS AND THEIR EFFECTS ON EXPORT COMPETITIVENESS IN DEVELOPING SOUTH ASIAN COUNTRIES	Prof. Dr. Muhammad Imran Khan Fatima Zahra Malik Ahmed Raza Sheikh Assis. Prof. Dr. Bilal Ahmad
		6	THE EFFECTS OF TRADE LIBERALIZATION AND TARIFF REFORMS ON DOMESTIC INDUSTRIAL PRODUCTIVITY	Prof. Dr. Saad Ibrahim Naser Rusul Hameed Aziz
		7	OIL REVENUE MANAGEMENT AND ECONOMIC DIVERSIFICATION STRATEGIES IN RENTIER STATES	Hassan Falah Al-Obaidi Assoc. Prof. Dr. Marwa Salim Yousif Kareem Dr. Noor Abbas Hamid

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Assis. Prof. Dr. Sami Gharbi**	1	THE IMPACT OF BLENDED LEARNING ENVIRONMENTS ON STUDENT MOTIVATION AND ACADEMIC ACHIEVEMENT IN SECONDARY EDUCATION	Prof. Dr. Ion Munteanu Elena Rusu Dr. Cristina Ciobanu
		2	INVESTIGATING THE ROLE OF DIGITAL COMPETENCE AMONG UNIVERSITY LECTURERS IN THE POST-PANDEMIC TEACHING TRANSITION	Vasile Popescu
		3	EVALUATING THE ADOPTION OF EDUCATIONAL TECHNOLOGY TOOLS FOR IMPROVING LEARNING OUTCOMES IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS	Prof. Dr. Frank Nyerere Halima Juma
		4	BARRIERS TO GIRLS' ACCESS TO QUALITY EDUCATION IN RESOURCE-CONSTRAINED COMMUNITIES: A QUALITATIVE STUDY	Assoc. Prof. Dr. Rehema Kileo Dr. Salum Ally Joyce Mtei
		5	THE INFLUENCE OF SCHOOL LEADERSHIP STYLES ON TEACHER JOB SATISFACTION AND RETENTION IN PUBLIC SECONDARY SCHOOLS	Prof. Dr. Juma Mwakalinga Neema Kimaro Dr. Baraka Mushi Asha Mbwana Emmanuel Shirima Grace Mollel
		6	THE RELATIONSHIP BETWEEN PARENTAL INVOLVEMENT AND READING COMPREHENSION OUTCOMES IN RURAL PUBLIC SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Ricardo Bautista Divina Reyes Dr. Marco Aguilar
		7	EXPLORING THE EFFECTIVENESS OF MOBILE-ASSISTED LANGUAGE LEARNING ON ENGLISH VOCABULARY ACQUISITION AMONG COLLEGE STUDENTS	Prof. Dr. Jose Antonio Ramirez Maria Cristina Santos Dr. Ferdinand Dela Cruz Grace Villanueva Rodel Mercado
		8	TEACHERS' PERCEPTIONS OF INCLUSIVE EDUCATION PRACTICES AND THE CHALLENGES OF SUPPORTING LEARNERS WITH SPECIAL NEEDS	Assis. Prof. Dr. Sami Gharbi Nadia Chaabane

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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. Carmela Aquino**	1	TRADITIONAL BATIK MOTIFS AS VISUAL LANGUAGE: RECONSTRUCTING CULTURAL IDENTITY IN CONTEMPORARY INDONESIAN PAINTING	Prof. Dr. Bambang Sutrisno Dewi Anggraini Assoc. Prof. Dr. Rizki Pratama Nur Aini Wulandari
		2	THE ROLE OF WAYANG AESTHETICS IN SHAPING MODERN DIGITAL ILLUSTRATION AND ANIMATION PRACTICE	Dr. Siti Rahayu Ahmad Nugroho
		3	COMMUNITY MURALS AS INSTRUMENTS OF SOCIAL HEALING IN POST-DISASTER URBAN SPACES	Prof. Dr. Maria Clara Santos Jose Antonio Reyes Assist. Prof. Dr. Ana Beatriz Cruz Ricardo dela Cruz Dr. Josefina Bautista Miguel Villanueva
		4	INDIGENOUS WEAVING PATTERNS AND THEIR REINTERPRETATION IN CONTEMPORARY FIBER ART	Assoc. Prof. Dr. Carmela Aquino
		5	COLONIAL LEGACY AND POSTCOLONIAL EXPRESSION IN THE VISUAL ARTS OF SOUTHEAST ASIA	Dr. Ramon Mercado Luisa Fernandez Prof. Dr. Emilio Navarro
		6	RELIGIOUS ICONOGRAPHY AND FOLK DEVOTION IN THE SACRED PAINTING TRADITIONS OF THE ISLANDS	Prof. Dr. Teresa Gonzales Antonio del Rosario Dr. Beatriz Salazar Fernando Ocampo Assist. Prof. Dr. Corazon Lim
		7	PARTICIPATORY ART EDUCATION AND ITS IMPACT ON YOUTH CREATIVE DEVELOPMENT IN RURAL COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Rafael Domingo Isabel Marquez
		8	SYMBOLISM AND SPIRITUALITY IN SENEGALESE GLASS PAINTING: TRADITION MEETING MODERNITY	Prof. Dr. Amadou Diallo Fatou Ndiaye Assist. Prof. Dr. Ousmane Sarr Aïssatou Fall

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Dorian Leka**	1	DIGITAL TRANSFORMATION AND SME PERFORMANCE IN EMERGING MOROCCAN MARKETS	Prof. Dr. Youssef El Mansouri Dr. Nadia Benkirane Amine El Fassi
		2	STRATEGIC INNOVATION AND ENTREPRENEURIAL GROWTH IN MOROCCAN FAMILY BUSINESSES	Assoc. Prof. Dr. Karim Ait Baha Salma Rachidi
		3	SUSTAINABLE TOURISM MANAGEMENT AND REGIONAL ECONOMIC DEVELOPMENT IN ALBANIA	Prof. Dr. Arben Kodra Dr. Elira Hoxha Assoc. Prof. Dr. Dorian Leka Besa Marku
		4	DIGITAL MARKETING TRANSFORMATION IN ALBANIAN SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES	Dr. Ilir Meta Erion Kallaku Arta Gjini
		5	ISLAMIC FINTECH ADOPTION AND FINANCIAL INCLUSION STRATEGIES IN KUWAIT	Prof. Dr. Abdullah Al-Mutairi Dr. Sara Al-Harbi Nasser Al-Fahad
		6	CORPORATE GOVERNANCE PRACTICES AND OIL-DEPENDENT ECONOMY DIVERSIFICATION IN KUWAIT	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Sabah Mariam Al-Otaibi
		7	ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BUSINESS DECISION MAKING AND ORGANIZATIONAL PERFORMANCE IN FRANCE	Prof. Dr. Jean-Luc Moreau Dr. Sophie Lambert Assoc. Prof. Dr. Pierre Dubois Claire Martin

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Prof. Dr. RAMAZAN ADIBELLİ**	1	THE CONCEPT OF BARBARISM IN R. G. COLLINGWOOD AND HIS ASSESSMENTS OF THE TURKS	Prof. Dr. RAMAZAN ADIBELLİ
		2	LEGITIMIZING A POLITICAL FIGURE THROUGH A MYTHICAL FIGURE: DONALD TRUMP AND THE “KING CYRUS” ANALOGY	Prof. Dr. RAMAZAN ADIBELLİ
		3	Tilework, Epigraphic and Geometric Ornamentation in the Architectural Decoration of the Guri Amir Mausoleum	Dr. Öğr. Üyesi Fadime ÖZLER KAYA
		4	A POET AT THE THRESHOLD: A SUFI ANALYSIS OF YAVUZ BÜLENT BAKİLER’S POEM “I HAVE COME TO YOU, MEVLÂNÂ”	Dr. Sait AVCI
		5	TÜRKİYE’DE MUHASEBE EĞİTİMİNDE DİJİTALLEŞMENİN EVRİMİ: MİKROBİLGİSAYARDAN ÜRETKEN YAPAY ZEKÂYA LİTERATÜR TEMELLİ BİR İNCELEME	Prof. Dr. Reşat KARCIOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Şerife KILIÇARSLAN
		6	MYANMAR (ROHINGYA) ÖRNEĞİ: GENOCIDE İLE POLITICIDE ARASINDA BİR VAKA MI?	Doç. Dr. Pınar AKARÇAY Fatima DASHDAMİROVA

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Öğr. Üyesi Zehra KAPLAN**	1	MENTAL İYİ OLUŞ VE YAŞAM DOYUMUNUN DEPRESYON, ANKSİYETE VE STRESLE ÖZGÜN İLİŞKİLERİ	Psikolog Dr. (PhD) Mehmet Fatih ŞİRAZ
		2	EVLİ BİREYLERDE SOSYAL MEDYA BAĞIMLILIĞI İLE EVLİLİK DOYUMU ARASINDAKİ İLİŞKİDE DUYGU DÜZENLEMENİN ARACI ROLÜ	Vedat BOYALI Doç. Dr. Eyyüp ÖZKAMALI
		3	TAEKWONDO SPORUYLA UĞRAŞAN BİREYLERİN SPOR YARALANMALARINDA KAYGI DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ	Ferhat CANPOLAT Dr. Mesut BULUT Prof. Dr. Oğuzhan ALTUNGÜL Prof. Dr. Mehmet Fatih KARAHÜSEYİNOĞLU Merve DURAN
		4	SPOR BİLİMLERİ FAKÜLTESİ ÖĞRENCİLERİNİN SOSYAL ONAY İHTİYAÇLARININ ÖZ-YETERLİLİK DURUMLARI ÜZERİNE ETKİSİ	Dr. Mesut BULUT Ferhat CANPOLAT Prof. Dr. Oğuzhan ALTUNGÜL Prof. Dr. Mehmet Fatih KARAHÜSEYİNOĞLU Merve DURAN
		5	AD REİNHARDT'IN RESİMLERİNDE DOĞU MENŞELERİ	Uzm. Hülya Havva YARIMCA
		6	CUMHURİYET DÖNEMİ TÜRK TİYATROSUNDA KÖY VE TOPLUM GERÇEKLİĞİ: HAMDİ OLCAY'IN OYUNLARI	Dr. Öğr. Üyesi Zehra KAPLAN
		7	SONSUZ KAYDIRMA KARGAŞASINDAN DİNGİNLİĞE: DİJİTAL SİBORGLAŞAN BİREYİN ALGORİTMİK KISKAÇTAN ÇIKIŞ REHBERİ- YAVAŞLIK HAREKETİ	Nurbanu Erdönmez Özdağ
		8	ÇOCUK TİYATROSUNDA MEKÂNIN POETİKASI: NURAN D. ŞENER'İN OYUNLARI ÜZERİNE BİR İNCELEME	YL/Öğrencisi Zeynep Demirci Taşova

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Assoc. Prof. Dr. Çağrı KANDEMİR**	1	SYNTHESIS OF AGRICULTURAL FERTILIZERS AND BIOSTIMULANTS BY THERMAL AND CHEMICAL TREATMENT OF GAS-CHEMICAL COMPLEX WASTEWATER SLUDGE	Тошпулатов А.О. Абдуназарова Р.М
		2	INDUSTRIAL ANIMAL PRODUCTION: AN ANALYSIS OF ITS ADVANTAGES AND DISADVANTAGES	Prof. Dr. Turgay TAŞKIN Prof. Dr. Sait ENGİNDENİZ Assoc. Prof. Dr. Çağrı KANDEMİR
		3	A STRATEGIC TOOL FOR SUSTAINABLE RURAL DEVELOPMENT IN TÜRKIYE: SUPPORT PROJECTS FOR SMALL RUMINANT LIVESTOCK FARMING	Assoc. Prof. Dr. Çağrı KANDEMİR Prof. Dr. Turgay TAŞKIN Prof. Dr. Sait ENGİNDENİZ
		4	EFFECTS OF SELENIUM APPLICATIONS ON BIOFORTIFICATION, NUTRITIONAL VALUE, AND FUNCTIONAL QUALITY OF VEGETABLES	Doç. Dr. Yelderem AKHOUNDNEJAD Doç. Dr. Yahya NAS
		5	EFFECTS OF ULTRAVIOLET LIGHT APPLICATIONS ON GROWTH, PHYSIOLOGICAL PERFORMANCE, AND PHYTOCHEMICAL QUALITY OF VEGETABLES	Doç. Dr. Yelderem AKHOUNDNEJAD Doç. Dr. Yahya NAS
		6	PLANT DISEASES IN A CHANGING CLIMATE: EFFECTS ON PATHOGEN DEVELOPMENT, DISEASE DYNAMICS AND SPREAD	Ziraat Yüksek Mühendisi RABİA HANDE ŞEN
		7	ASPECTUAL VARIATION IN SOME MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ANATOLIAN BLACK PINE SAPLINGS	Dr. Mahmut ÇERÇİOĞLU

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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. UMUT CANLI**	1	EFFECTS OF INTERMITTENT FASTING ON METABOLISM, GUT MICROBIOTA AND THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM: A NARRATIVE REVIEW	Öğrenci, Arzum Keskin Prof. Dr. Başak Yavuz Op. Dr. Enver Tekin
		2	GENÇ SPORCULARDA UZUN VADELİ SPORTİF GELİŞİM İÇİN KUVVET VE KONDİSYON ANTRENMANI: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR	Prof. Dr. UMUT CANLI
		3	SEDANTER OFİS ÇALIŞANLARINDA DİRENÇ ANTRENMANININ KAS-İSKELET VE KARDİYOMETABOLİK SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ: GÜNCEL KANITLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	Prof. Dr. UMUT CANLI
		4	MOLECULAR CHARACTERISTICS OF ANAEROBIC FUNGI IN RUMINANT ANIMALS DISTRIBUTED IN TUNCELI	Murat Üstüntaş Asst. Prof. Bülent Kar

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Mehmet Safa BİNGÖL**	1	Investigation of the Effect of Mesh Pore Size on Washing Performance and Filtration Behavior in a Dishwasher Sump Filter	E&P Laboratory Test & Performance Specialist, Onur TURHAN
		2	OPTIMIZING SVM PARAMETERS WITH ABC FOR OBESITY LEVEL CLASSIFICATION	Mehmet Safa BİNGÖL Neslihan KIRNAP Ahmet KIRNAP
		3	FARKLI FREN DİSKİ GEOMETRİLERİ VE MALZEMELERİNİN GEÇİCİ REJİM ISIL PERFORMANSININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE KARŞILAŞTIRILMASI	Yüksek Lisans Öğrencisi, Rümeysa Sena SAYOĞLU Dr. Öğr. Üyesi, Memduh SUVEREN Doç. Dr., Emir ESİM
		4	DÜŞÜK REYNOLDS SAYILARINDA SEÇİLİ İHA KANAT PROFİLLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI CFD ANALİZİ	Lisans Öğrencisi, Duygu YERLİ Dr. Öğr. Üyesi, Memduh SUVEREN

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Assoc. Prof. Dr. Bağdagül KARTAL ERDOĞAN**	1	AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE FRAMEWORK COMBINING SENTIMENT CLASSIFICATION, LARGE LANGUAGE MODEL-BASED SUMMARIZATION, AND FUZZY LOGIC EVALUATION FOR THE ANALYSIS OF TURKISH E-COMMERCE REVIEWS	Assoc. Prof. Dr. Erdal ÖZBAY Assoc. Prof. Dr. Feyza ALTUNBEY ÖZBAY Prof. Dr. Ahmet Bedri ÖZER
		2	FURTHER GENERALIZATIONS OF SUMMABILITY FACTOR THEOREMS	Prof. Dr. Hikmet Seyhan ÖZARSLAN Assoc. Prof. Dr. Bağdagül KARTAL ERDOĞAN
		3	ABEL–CESÀRO CONVERGENCE FOR INTERVAL-VALUED SEQUENCES	Assoc. Prof. Dr. Bağdagül KARTAL ERDOĞAN Nuray ÖZEN
		4	A YOLO-BASED DETECTION SYSTEM FOR IDENTIFYING FACADE SURFACE DEFECTS FROM DRONE IMAGES	Undergraduate Student Öykü AVKIRAN Undergraduate Student Merve SARIOĞLU Undergraduate Student Sinem ÖZALP Assoc. Prof. Dr. Zeynep HASIRCI TUĞCU
		5	ASSOCIATIONS OF AI-ASSISTED WORK WITH PERCEIVED TIME SAVING AND TASK PERFORMANCE: A SURVEY OF YEMENI ENGINEERS IN TÜRKİYE	Master's Student Hayat Mohammed Ahmed Ali GALHOF Asst. Prof. Dr. Ahmet Ziyaeddin BULUM

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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.Melike YALILI KILIÇ**	1	ORGANIZATIONAL PROPOSALS FOR CAPITAL REPAIR OF BUILDINGS UNDER HOT-DRY CLIMATIC CONDITIONS: THE CASE OF JIZZAKH REGION	Musurmonkulov Sultonbek Baxromqul o‘g‘li
		2	EFFECT OF HIGH-PRESSURE HOMOGENIZATION ON THE FLOW AND VISCOELASTIC PROPERTIES OF LOCUST BEAN GUM	Elif Nisanur Kaya Assoc. Prof. Zeynep Hazal Tekin-Cakmak Prof. Salih Karasu Assoc. Prof. Abdullah Kurt
		3	MEMBRANE PRODUCTION USING CACAO BEAN SHELLS-DERIVED PECTIN	Atacan TEKİN Dr. Sedef KAPTAN USUL Assoc. Prof. Dr. Ayşe ASLAN Canpolat
		4	EFFECT OF MICROPILE NUMBER, SPACING, AND INCLINATION ANGLE ON SOIL IMPROVEMENT: AN EXPERIMENTAL STUDY	Ph.D. Candidate, Rahim Khan Nasery Assoc. Prof. Dr., Mesut GÖR
		5	DERİ ENDÜSTRİSİNDE ÜRETİM SÜREÇLERİNİN YAPISAL HASSASİYETİ VE DAYANIKLILIĞI	Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER Öğr. Gör. ERTAN EROL
		6	GELENEKSEL DAVUL DERİSİ ÜRETİMİ VE KÜLTÜREL SÜREKLİLİK	Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER Öğr. Gör. ERTAN EROL
		7	EXAMINING THE ENVIRONMENTAL AWARENESS LEVELS OF ADMINISTRATIVE STAFF	Prof.Dr.Melike YALILI KILIÇ Beyza BAYIRLI Rüveyda ARAN
		8	ENVIRONMENTAL AWARENESS, ENVIRONMENTAL CONSCIOUSNESS AND SUSTAINABLE LIFESTYLES	Prof.Dr.Melike YALILI KILIÇ Beyza BAYIRLI Rüveyda ARAN

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Dr. Goran Stojanovski**	1	THE ROLE OF SUFI TRADITIONS IN SHAPING RELIGIOUS IDENTITY AMONG MUSLIM COMMUNITIES IN CENTRAL ASIA	Prof. Dr. Aliya Tulegenova Nurlan Bekmuratov
		2	DIVINE JUSTICE AND HUMAN RESPONSIBILITY IN CLASSICAL ISLAMIC THEOLOGY: A COMPARATIVE READING OF MATURIDI AND ASHARI THOUGHT	Assoc. Prof. Dr. Dinara Sarsenbayeva Yerlan Kudaibergenov Aigerim Zhaksylykova
		3	INTERRELIGIOUS DIALOGUE AND COEXISTENCE IN THE BALKANS: THEOLOGICAL FOUNDATIONS FOR PEACEBUILDING IN MULTIETHNIC SOCIETIES	Dr. Goran Stojanovski Elena Petrovska
		4	THE CONCEPT OF DIVINE MERCY IN ORTHODOX CHRISTIAN AND ISLAMIC THEOLOGICAL TRADITIONS: POINTS OF CONVERGENCE	Assis. Prof. Dr. Marija Trajkovska Vladimir Nikolovski Blagoja Angelov Ana Dimitrievska
		5	AFRICAN TRADITIONAL RELIGION AND CHRISTIAN THEOLOGY: RETHINKING SALVATION AND COMMUNITY IN POSTCOLONIAL WEST AFRICA	Prof. Dr. Chukwuemeka Okonkwo Adebayo Ogunleye Ngozi Eze
		6	PENTECOSTALISM, PROSPERITY GOSPEL, AND SOCIAL ETHICS: A CRITICAL THEOLOGICAL EVALUATION OF CONTEMPORARY NIGERIAN CHURCHES	Assoc. Prof. Dr. Ifeoma Nwankwo Emeka Obi Fatima Bello Oluwaseun Adeyemi Chidinma Uche
		7	THEOLOGY OF SUFFERING AND HOPE IN THE CONTEXT OF RELIGIOUS CONFLICT AND DISPLACEMENT IN NORTHERN NIGERIA	Dr. Yusuf Abubakar Grace Okafor
		8	RELIGIOUS PLURALISM AND STATE GOVERNANCE: THEOLOGICAL PERSPECTIVES ON HARMONY IN A MULTIFAITH SOCIETY	Prof. Dr. Wei Ming Tan Siti Nurhaliza Binte Rahman Rajesh Kumar

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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. Dawit Gebremariam Assefa**	1	THE ROLE OF COMMUNITY-BASED SOCIAL WORK INTERVENTIONS IN REDUCING SOCIAL EXCLUSION AMONG ELDERLY POPULATIONS IN URBAN NEIGHBORHOODS	Prof. Dr. María González Fernández Dr. Javier Martínez Ruiz Assoc. Prof. Dr. Carmen López Sánchez
		2	EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF DIGITAL SOCIAL SERVICES IN SUPPORTING VULNERABLE FAMILIES DURING PERIODS OF ECONOMIC CRISIS	Assis. Prof. Dr. Alejandro Romero Díaz Laura Navarro Gómez
		3	CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN DELIVERING CHILD PROTECTION SERVICES WITHIN RURAL COMMUNITIES: A QUALITATIVE INVESTIGATION	Prof. Dr. Abebe Bekele Wolde Tigist Haile Mariam Dr. Solomon Tadesse Gebre Meseret Alemu Desta
		4	THE IMPACT OF SOCIAL WORK PRACTICE ON EMPOWERING WOMEN THROUGH LOCAL COMMUNITY DEVELOPMENT PROGRAMS	Assoc. Prof. Dr. Dawit Gebremariam Assefa Hana Girma Tesfaye
		5	SOCIAL WORKERS' PERCEPTIONS OF POVERTY ALLEVIATION STRATEGIES IN MARGINALIZED URBAN SETTLEMENTS	Prof. Dr. Youssef El Amrani Fatima Zahra Bennani Assis. Prof. Dr. Khalid Ouazzani Salma El Fassi Dr. Rachid Benjelloun
		6	INTEGRATING TRADITIONAL SUPPORT SYSTEMS AND PROFESSIONAL SOCIAL SERVICES FOR THE INTEGRATION OF REFUGEE POPULATIONS	Nadia Alaoui Idrissi Assoc. Prof. Dr. Hamza Tazi Mezalek
		7	THE INFLUENCE OF SCHOOL-BASED SOCIAL WORK ON REDUCING DROPOUT RATES AMONG ADOLESCENTS FROM DISADVANTAGED BACKGROUNDS	Dr. Imane Chraibi Prof. Dr. Omar Berrada Yasmine El Khattabi Assis. Prof. Dr. Mehdi Sabri Karim Belghiti Houda Naciri
		8	EXPLORING THE MENTAL HEALTH OUTCOMES OF SOCIAL SUPPORT INTERVENTIONS FOR SINGLE MOTHERS IN METROPOLITAN AREAS	Prof. Dr. Mohammad Reza Ahmadi Zahra Hosseini Nejad

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Assis. Prof. Dr. Antonio Ruiz Cabrera**	1	EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF BOVINE TUBERCULOSIS IN EXTENSIVE CATTLE FARMING SYSTEMS OF THE MEDITERRANEAN REGION	Prof. Dr. Carlos Fernández-Delgado Dr. María Isabel Romero-Vega Javier Alonso Martín Assoc. Prof. Dr. Lucía Sánchez Ortega
		2	ANTIMICROBIAL RESISTANCE PATTERNS OF ESCHERICHIA COLI ISOLATED FROM POULTRY FLOCKS AND ITS PUBLIC HEALTH IMPLICATIONS	Assis. Prof. Dr. Antonio Ruiz Cabrera Elena Gómez Navarro
		3	PREVALENCE AND RISK FACTORS ASSOCIATED WITH GASTROINTESTINAL PARASITIC INFECTIONS IN SMALLHOLDER DAIRY CATTLE	Dr. Tesfaye Bekele Gebre Prof. Dr. Almaz Hailu Wolde Getachew Mulugeta Assefa
		4	SEROPREVALENCE OF PESTE DES PETITS RUMINANTS VIRUS IN INDIGENOUS SHEEP AND GOAT POPULATIONS UNDER PASTORAL MANAGEMENT	Prof. Dr. Dawit Negash Kebede Selamawit Bogale Fikru
		5	MOLECULAR CHARACTERIZATION OF FOOT-AND-MOUTH DISEASE VIRUS SEROTYPES CIRCULATING IN NORTH AFRICAN LIVESTOCK POPULATIONS	Assis. Prof. Dr. Youssef El Amrani Dr. Fatima Zahra Benjelloun Khalid Ouazzani Tahiri Prof. Dr. Nadia Berrada Chraibi Hamza El Fassi
		6	IMPACT OF THERMAL STRESS ON REPRODUCTIVE PERFORMANCE AND MILK YIELD IN HOLSTEIN DAIRY COWS UNDER SEMI-ARID CONDITIONS	Dr. Rachid Bennani Smires Salma El Idrissi Alaoui Assoc. Prof. Dr. Omar Tazi Mansouri
		7	DETECTION AND ANTIBIOTIC SUSCEPTIBILITY OF STAPHYLOCOCCUS AUREUS IN SUBCLINICAL MASTITIS CASES FROM SMALL-SCALE DAIRY HERDS	Prof. Dr. Mohamed Chakir Belhaj Imane Sabri Ouali Houda Bennis Sekkat

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Prof. Dr. Chinedu Okafor**	1	SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES RETROFITTED WITH CARBON FIBER REINFORCED POLYMER JACKETING IN HIGH-RISK ZONES	Prof. Dr. Nurlan Abenov Aigerim Sultanova Yerlan Tulegenov Dr. Zhanna Karimova
		2	INTEGRATION OF BUILDING INFORMATION MODELING AND ENERGY SIMULATION FOR SUSTAINABLE RESIDENTIAL ARCHITECTURE IN CONTINENTAL CLIMATE CONDITIONS	Assoc. Prof. Dr. Dmitriy Ivanov Madina Zhaksybekova
		3	FINITE ELEMENT ANALYSIS OF LONG-SPAN STEEL TRUSS BRIDGES UNDER COMBINED THERMAL AND DYNAMIC TRAFFIC LOADING	Prof. Dr. Goran Stojanovski Marija Petrovska Assis. Prof. Dr. Ilija Nikolov Ana Trajkovska Dr. Vladimir Angelov
		4	ADAPTIVE REUSE OF INDUSTRIAL HERITAGE BUILDINGS AS A STRATEGY FOR URBAN REGENERATION AND CULTURAL SUSTAINABILITY	Biljana Ristovska Assoc. Prof. Dr. Kiril Dimitrov
		5	EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LATERITIC SOIL STABILIZATION USING RICE HUSK ASH AND CEMENT FOR LOW-COST ROAD PAVEMENT CONSTRUCTION	Prof. Dr. Chinedu Okafor
		6	OPTIMIZATION OF PASSIVE COOLING TECHNIQUES IN VERNACULAR ARCHITECTURE FOR TROPICAL CLIMATE ENERGY EFFICIENCY	Assoc. Prof. Dr. Funmilayo Adeyemi Ibrahim Musa Blessing Eze Dr. Olusegun Bamidele Ngozi Uchenna Assis. Prof. Dr. Tunde Afolabi
		7	DURABILITY AND MECHANICAL BEHAVIOR OF SELF-COMPACTING CONCRETE INCORPORATING RECYCLED COARSE AGGREGATES AND SILICA FUME	Dr. Yusuf Abdullahi Chidinma Obi Prof. Dr. Hassan Danjuma
		8	RESILIENCE-BASED DESIGN OF URBAN DRAINAGE INFRASTRUCTURE FOR FLOOD MITIGATION UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS IN DENSE COASTAL CITIES	Prof. Dr. Tan Wei Ming Lim Hui Ling Assoc. Prof. Dr. Rajesh Kumar Nurul Aisyah Binte Rahman
		9	PARAMETRIC DESIGN AND STRUCTURAL OPTIMIZATION OF FREE-FORM TIMBER GRIDSHELL ROOF SYSTEMS USING COMPUTATIONAL WORKFLOWS	Assis. Prof. Dr. Lee Jia Wei Priya Nair Dr. Muhammad Firdaus

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Assis. Prof. Dr. Nodira Karimova**	1	EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THERMAL FATIGUE BEHAVIOR IN ALUMINUM ALLOY PISTON HEADS UNDER CYCLIC HEATING CONDITIONS	Prof. Dr. Alisher Rakhimov Dilnoza Yusupova Assoc. Prof. Dr. Bekzod Toshpulatov
		2	OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS IN CNC TURNING OF STAINLESS STEEL USING TAGUCHI-BASED SURFACE ROUGHNESS ANALYSIS	Sardor Ergashev Assis. Prof. Dr. Nodira Karimova
		3	FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESS DISTRIBUTION IN COMPOSITE LEAF SPRINGS FOR LIGHTWEIGHT AUTOMOTIVE SUSPENSION SYSTEMS	Prof. Dr. Chih-Ming Lin Yu-Hsuan Chang Wei-Chen Huang Dr. Ping-Hung Tsai
		4	DEVELOPMENT OF A HYBRID PIEZOELECTRIC ENERGY HARVESTING MODULE FOR VIBRATION-DRIVEN INDUSTRIAL SENSOR APPLICATIONS	Assoc. Prof. Dr. Kuan-Yu Chen Hsiao-Ling Wu Jia-Wei Yang Mei-Fen Ho Cheng-Hao Liu Dr. Shu-Ping Kao
		5	COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS STUDY OF HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN MICROCHANNEL HEAT SINKS USING NANOFLUID COOLANTS	Prof. Dr. Md. Rafiqul Islam Tahmina Akter
		6	DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF A LOW-COST SOLAR-POWERED WATER PUMPING SYSTEM FOR RURAL AGRICULTURAL IRRIGATION	Abdullah Al Mamun Assoc. Prof. Dr. Shahriar Hossain Nusrat Jahan Dr. Kamrul Hasan Bhuiyan Fatema Begum
		7	WEAR AND FRICTION CHARACTERIZATION OF SILICON CARBIDE-REINFORCED ALUMINUM MATRIX COMPOSITES FABRICATED BY STIR CASTING	Assis. Prof. Dr. Mohammad Saiful Alam Rezaul Karim Sadia Islam

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Assoc. Prof. Dr. Håkon Nilsen**	1	COMPARATIVE ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN URBAN RIVER SEDIMENTS UNDER SEMI-ARID CLIMATIC CONDITIONS	Prof. Dr. Bekzod Rakhimov Nilufar Yusupova Assoc. Prof. Dr. Sardor Karimov
		2	MEMBRANE BIOREACTOR PERFORMANCE FOR MUNICIPAL WASTEWATER REUSE IN WATER-STRESSED REGIONS OF CENTRAL ASIA	Dr. Dilnoza Abdullayeva Otabek Tursunov Prof. Dr. Jamshid Ismoilov Malika Sattorova Assis. Prof. Dr. Farrukh Nazarov
		3	PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF PHARMACEUTICAL POLLUTANTS USING MODIFIED TITANIUM DIOXIDE NANOCOMPOSITES	Prof. Dr. Ahmed El-Sayed Mona Abdelrahman
		4	LIFE CYCLE ANALYSIS OF SOLID WASTE MANAGEMENT STRATEGIES IN RAPIDLY EXPANDING COASTAL CITIES	Dr. Karim Mahmoud Fatma Hassan Assoc. Prof. Dr. Youssef Ibrahim Nourhan Farouk
		5	MICROPLASTIC OCCURRENCE AND SEASONAL DISTRIBUTION IN COLD-WATER FJORD ECOSYSTEMS	Prof. Dr. Lars Haugen Ingrid Solberg Dr. Magnus Berg
		6	OPTIMIZATION OF ANAEROBIC DIGESTION FOR BIOGAS RECOVERY FROM FISH PROCESSING WASTE STREAMS	Sofie Andersen Assoc. Prof. Dr. Håkon Nilsen

AVRASYA 16th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES October 8 – 13, 2026 TASHKENT Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
10 Ekim / Oct 10, 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	**Dr. Marko Nikolić**	1	ENCAPSULATION OF BLACKCURRANT POLYPHENOLS BY SPRAY DRYING AND THEIR STABILITY DURING STORAGE IN FUNCTIONAL DAIRY MATRICES	Prof. Dr. Rūta Petrauskienė Assoc. Prof. Dr. Gintaras Kazlauskas Dr. Andrius Jankauskas
		2	OPTIMIZATION OF ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION OF DIETARY FIBRE FROM RYE BRAN FOR BAKERY APPLICATIONS	Jonas Stankevičius Assis. Prof. Dr. Vaida Butkutė
		3	EFFECT OF HIGH-PRESSURE PROCESSING ON MICROBIAL SAFETY AND SENSORY QUALITY OF FRESHLY PRESSED POMEGRANATE JUICE	Prof. Dr. Mohamed El-Sayed Ahmed Abdel-Rahman Dr. Amira Hassan Mostafa Kamel
		4	DEVELOPMENT OF EDIBLE COATINGS BASED ON CHITOSAN AND OLIVE LEAF EXTRACT TO EXTEND SHELF LIFE OF DATE FRUITS	Assoc. Prof. Dr. Mahmoud Ibrahim Fatma El-Zahraa Mansour
		5	KINETIC MODELLING OF THIN-LAYER DRYING OF MANGO SLICES USING SOLAR-ASSISTED HYBRID DRYERS	Prof. Dr. Muhammad Aslam Ayesha Bibi Dr. Bilal Ahmed Khan Usman Malik Assis. Prof. Dr. Sana Riaz Hafiz Tariq Mehmood
		6	PHYSICOCHEMICAL AND RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF STABILIZED YOGHURT ENRICHED WITH GERMINATED CHICKPEA FLOUR	Ali Raza Dr. Fatima Noor
		7	ANTIOXIDANT ACTIVITY AND OXIDATIVE STABILITY OF COLD-PRESSED MORINGA SEED OIL DURING ACCELERATED STORAGE	Prof. Dr. Imran Hussain Assoc. Prof. Dr. Nadia Parveen Zeeshan Akram
		8	INFLUENCE OF FERMENTATION CONDITIONS ON THE PROBIOTIC VIABILITY AND TEXTURE OF TRADITIONAL SERBIAN KAJMAK	Prof. Dr. Nikola Jovanović Jelena Petrović Dr. Marko Nikolić

Contents

A STRATEGIC TOOL FOR SUSTAINABLE RURAL DEVELOPMENT IN TÜRKIYE: SUPPORT PROJECTS FOR SMALL RUMINANT LIVESTOCK FARMING 1

INDUSTRIAL ANIMAL PRODUCTION: AN ANALYSIS OF ITS ADVANTAGES AND DISADVANTAGES 10

ULTRAVİYOLE IŞIK UYGULAMALARININ SEBZELERDE BÜYÜME, FİZYOLOJİK PERFORMANS VE FİTOKİMYASAL KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ 22

SELENYUM UYGULAMALARININ SEBZELERDE BİYOFORTİFİKASYON, BESİN DEĞERİ VE FONKSİYONEL KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ 36

ASPECTUAL VARIATION IN SOME MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ANATOLIAN BLACK PINE SAPLINGS 47

SEDANTER OFİS ÇALIŞANLARINDA DİRENÇ ANTRENMANININ KAS-İSKELET VE KARDİYOMETABOLİK SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ: GÜNCEL KANITLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 56

GENÇ SPORCULARDA UZUN VADELİ SPORTİF GELİŞİM İÇİN KUVVET VE KONDİSYON ANTRENMANI: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR 62

TUNCELİ'DE YAYILIŞ GÖSTEREN RUMİNANT HAYVANLARDAKİ ANAEROBİK FUNGUSLARIN MOLEKÜLER TANIMLANMASI 68

MOLECULAR CHARACTERISTICS OF ANAEROBIC FUNGI IN RUMINANT ANIMALS DISTRIBUTED IN TUNCELI 69

BULAŞIK MAKINESI SUMP FILTRESINDE MESH GÖZENEK AÇIKLIĞININ YIKAMA PERFORMANSI VE FILTRASYON DAVRANIŞI ÜZERINDEKI ETKISININ İNCELENMESI 70

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MESH PORE SIZE ON WASHING PERFORMANCE AND FILTRATION BEHAVIOR IN A DISHWASHER SUMP FILTER 71

OPTIMIZING SVM PARAMETERS WITH ABC FOR OBESITY LEVEL CLASSIFICATION 78

FARKLI FREN DİSKİ GEOMETRİLERİ VE MALZEMELERİNİN GEÇİCİ REJİM ISIL PERFORMANSININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE KARŞILAŞTIRILMASI 87

DÜŞÜK REYNOLDS SAYILARINDA SEÇİLİ İHA KANAT PROFİLLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI CFD SAYISAL ANALİZİ 101

AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE FRAMEWORK COMBINING SENTIMENT CLASSIFICATION, LARGE LANGUAGE MODEL-BASED SUMMARIZATION, AND FUZZY LOGIC EVALUATION FOR THE ANALYSIS OF TURKISH E-COMMERCE REVIEWS 118

FURTHER GENERALIZATIONS OF SUMMABILITY FACTOR THEOREMS 127

ABEL–CESÀRO CONVERGENCE FOR INTERVAL-VALUED SEQUENCES 132

DRONE GÖRÜNTÜLERİNDEN DIŞ CEPHE YÜZEY KUSURLARININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK YOLO TABANLI BİR TESPİT SİSTEMİ 133

ASSOCIATIONS OF AI-ASSISTED WORK WITH PERCEIVED TIME SAVING AND TASK PERFORMANCE: A SURVEY OF YEMENI ENGINEERS IN TÜRKİYE 146

EFFECT OF HIGH-PRESSURE HOMOGENIZATION ON THE FLOW AND VISCOELASTIC PROPERTIES OF LOCUST BEAN GUM 168

MEMBRANE PRODUCTION USING CACAO BEAN SHELLS-DERIVED PECTIN 169

EFFECT OF MICROPILE NUMBER, SPACING, AND INCLINATION ANGLE ON SOIL IMPROVEMENT: AN EXPERIMENTAL STUDY 179

DERİ ENDÜSTRİSİNDE ÜRETİM SÜREÇLERİNİN YAPISAL HASSASİYETİ VE DAYANIKLILIĞI 189

GELENEKSEL DAVUL DERİSİ ÜRETİMİ VE KÜLTÜREL SÜREKLİLİK 203

ENVIRONMENTAL AWARENESS, ENVIRONMENTAL CONSCIOUSNESS AND SUSTAINABLE LIFESTYLES . 215

EXAMINING THE ENVIRONMENTAL AWARENESS LEVELS OF ADMINISTRATIVE STAFF 221

EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF BOVINE TUBERCULOSIS IN EXTENSIVE CATTLE FARMING SYSTEMS OF THE MEDITERRANEAN REGION 228

PREVALENCE AND RISK FACTORS ASSOCIATED WITH GASTROINTESTINAL PARASITIC INFECTIONS IN SMALLHOLDER DAIRY CATTLE 230

SEROPREVALENCE OF PESTE DES PETITS RUMINANTS VIRUS IN INDIGENOUS SHEEP AND GOAT POPULATIONS UNDER PASTORAL MANAGEMENT 231

MOLECULAR CHARACTERIZATION OF FOOT-AND-MOUTH DISEASE VIRUS SEROTYPES CIRCULATING IN NORTH AFRICAN LIVESTOCK POPULATIONS 232

IMPACT OF THERMAL STRESS ON REPRODUCTIVE PERFORMANCE AND MILK YIELD IN HOLSTEIN DAIRY COWS UNDER SEMI-ARID CONDITIONS 233

DETECTION AND ANTIBIOTIC SUSCEPTIBILITY OF STAPHYLOCOCCUS AUREUS IN SUBCLINICAL MASTITIS CASES FROM SMALL-SCALE DAIRY HERDS 234

SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES RETROFITTED WITH CARBON FIBER REINFORCED POLYMER JACKETING IN HIGH-RISK ZONES 235

INTEGRATION OF BUILDING INFORMATION MODELING AND ENERGY SIMULATION FOR SUSTAINABLE RESIDENTIAL ARCHITECTURE IN CONTINENTAL CLIMATE CONDITIONS 236

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF LONG-SPAN STEEL TRUSS BRIDGES UNDER COMBINED THERMAL AND DYNAMIC TRAFFIC LOADING 237

ADAPTIVE REUSE OF INDUSTRIAL HERITAGE BUILDINGS AS A STRATEGY FOR URBAN REGENERATION AND CULTURAL SUSTAINABILITY 238

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LATERITIC SOIL STABILIZATION USING RICE HUSK ASH AND CEMENT FOR LOW-COST ROAD PAVEMENT CONSTRUCTION 239

OPTIMIZATION OF PASSIVE COOLING TECHNIQUES IN VERNACULAR ARCHITECTURE FOR TROPICAL CLIMATE ENERGY EFFICIENCY 240

DURABILITY AND MECHANICAL BEHAVIOR OF SELF-COMPACTING CONCRETE INCORPORATING RECYCLED COARSE AGGREGATES AND SILICA FUME 241

RESILIENCE-BASED DESIGN OF URBAN DRAINAGE INFRASTRUCTURE FOR FLOOD MITIGATION UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS IN DENSE COASTAL CITIES 242

OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS IN CNC TURNING OF STAINLESS STEEL USING TAGUCHI-BASED SURFACE ROUGHNESS ANALYSIS 243

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESS DISTRIBUTION IN COMPOSITE LEAF SPRINGS FOR LIGHTWEIGHT AUTOMOTIVE SUSPENSION SYSTEMS 244

DEVELOPMENT OF A HYBRID PIEZOELECTRIC ENERGY HARVESTING MODULE FOR VIBRATION-DRIVEN INDUSTRIAL SENSOR APPLICATIONS 245

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS STUDY OF HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN MICROCHANNEL HEAT SINKS USING NANOFLUID COOLANTS 246

DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF A LOW-COST SOLAR-POWERED WATER PUMPING SYSTEM FOR RURAL AGRICULTURAL IRRIGATION 247

WEAR AND FRICTION CHARACTERIZATION OF SILICON CARBIDE-REINFORCED ALUMINUM MATRIX COMPOSITES FABRICATED BY STIR CASTING 248

COMPARATIVE ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN URBAN RIVER SEDIMENTS UNDER SEMI-ARID CLIMATIC CONDITIONS 249

MEMBRANE BIOREACTOR PERFORMANCE FOR MUNICIPAL WASTEWATER REUSE IN WATER-STRESSED REGIONS OF CENTRAL ASIA 250

PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF PHARMACEUTICAL POLLUTANTS USING MODIFIED TITANIUM DIOXIDE NANOCOMPOSITES 251

LIFE CYCLE ANALYSIS OF SOLID WASTE MANAGEMENT STRATEGIES IN RAPIDLY EXPANDING COASTAL CITIES 252

MICROPLASTIC OCCURRENCE AND SEASONAL DISTRIBUTION IN COLD-WATER FJORD ECOSYSTEMS. 253

OPTIMIZATION OF ANAEROBIC DIGESTION FOR BIOGAS RECOVERY FROM FISH PROCESSING WASTE STREAMS 254

OPTIMIZATION OF ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION OF DIETARY FIBRE FROM RYE BRAN FOR BAKERY APPLICATIONS 255

EFFECT OF HIGH-PRESSURE PROCESSING ON MICROBIAL SAFETY AND SENSORY QUALITY OF FRESHLY PRESSED POMEGRANATE JUICE 256

DEVELOPMENT OF EDIBLE COATINGS BASED ON CHITOSAN AND OLIVE LEAF EXTRACT TO EXTEND SHELF LIFE OF DATE FRUITS 257

KINETIC MODELLING OF THIN-LAYER DRYING OF MANGO SLICES USING SOLAR-ASSISTED HYBRID DRYERS 258

DEĞİŞEN İKLİMDE BİTKİ HASTALIKLARI: PATOJEN GELİŞİMİ, HASTALIK DİNAMİKLERİ VE YAYILIŞ ÜZERİNE ETKİLER 259

ARALIKLI ORUCUN METABOLİZMA, BAĞIRSAK MİKROBİYOTASI VE MERKEZİ SİNİR SİSTEMİ ÜZERİNE ETKİLERİ: ANLATISAL BİR DERLEME 275

A STRATEGIC TOOL FOR SUSTAINABLE RURAL DEVELOPMENT IN TÜRKIYE: SUPPORT PROJECTS FOR SMALL RUMINANT LIVESTOCK FARMING

Çağrı KANDEMİR[1] **Turgay TAŞKIN[2]** **Sait ENGİNDENİZ[3]**

[1] Assos. Prof. Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, cagri.kandemir@ege.edu.tr,
ORCID: 0000-0001-7378-6962

[2] Prof.. Dr. Prof. Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, turgay.taskin@ege.edu.tr
ORCID: 0000-0001-8528-9760

[3] Prof.Dr. Ege University Faculty of Agriculture Department of Agricultural Economics sait.engindeniz@ege.edu.tr.
ORCID:

Corresponding author: cagri.kandemir@ege.edu.tr

Abstract
Sustainable rural development is a key development parameter that addresses economic, social, and environmental dimensions through a holistic approach. Small ruminant farming activities, carried out across significant portions of Türkiye's rural areas, hold strategic importance for utilising natural pasture resources, boosting rural employment, ensuring food supply security, and preserving traditional production systems. Support projects for small ruminant farming in rural areas, implemented in recent years, aim to foster the sector's development through various measures such as the provision of breeding stock, investment grants, support for herd managers, incentives for forage crop production, and genetic improvement programs. However, the impact of these support projects on sustainable rural development must be evaluated not only in terms of increased production but also regarding economic sustainability, social structure, environmental effects, and institutional capacity. This article examines small ruminant support projects implemented in Türkiye from the perspective of sustainable rural development, evaluating their strengths, structural implementation challenges, and areas for future improvement in light of current literature. The analysis indicates that these support projects make significant contributions to increasing rural income levels, supporting women and young entrepreneurs, conserving indigenous genetic resources, and disseminating modern production techniques. Conversely, factors such as high feed costs, shrinking pasturelands, inadequate marketing infrastructure, a lack of post-project technical advisory services, difficulties in accessing finance, the adverse effects of climate change, and weaknesses in producer organisation emerge as key constraints on project effectiveness. Ultimately, the long-term success of rural small ruminant support projects depends on moving beyond mechanisms based solely on livestock distribution and adopting a holistic planning approach that encompasses training, extension services, digital herd management, genetic improvement, pasture rehabilitation, producer organization, value-added product development, and effective monitoring and evaluation systems.
Keywords: sustainable rural development, small ruminant production, rural support projects, rural development policies, farm animal support.

1.INTRODUCTION

Türkiye's richness in terms of both sheep population and breed diversity is linked to the suitability of the country's climate and geographical conditions (Dellal et al. 2021; Çiçek et al. 2022). Given that the sustainability of sheep farming largely depends on pasture utilisation, the country holds a significant advantage with its 12.9 million hectares of pastureland. In other words, pasture areas account for approximately 19.4% of agricultural land (TurkStat, 2025). The total volume of raw milk produced for Türkiye in 2024 was approximately 22.5 million tons, with sheep milk accounting for 4% of that total.

The share of sheep milk in total milk production stands at 6.5%, which is above the global average of 1.26% (TurkStat, 2025). In 2024, meat production derived from sheep farming in Türkiye amounted to approximately 509,539 tons, representing the second-largest share—at 24.2%—of total red meat production. Total red meat production was 2,105,895 tons, comprising 1,483,042 tons of beef (approximately 70.4%) and 509,539 tons of sheep meat (24.2%). The livestock sector holds strategic importance in developing countries, not only for ensuring the production of animal protein but also for rural development, poverty reduction, and the sustainable management of natural resources. Globally, more than one billion people derive their livelihoods from animal production, with a significant portion of this population consisting of small family farms (FAO, 2024). Türkiye is highly suitable for small ruminant farming due to its climatic conditions, availability of pastures, and indigenous genetic resources. In recent years, the deficit in red meat supply, rising feed costs, and the decline in the rural population have led to small ruminant farming being re-evaluated as a strategic sector. Accordingly, various support programs implemented by the Ministry of Agriculture and Forestry aim to increase the number of small ruminants, boost productivity, and improve producers' income levels (Kandemir and Taşkın, 2022). However, policies aimed solely at increasing animal numbers are currently insufficient. It is emphasised that support programs must be implemented in an integrated manner, encompassing training, genetic improvement, digital technologies, pasture management, marketing infrastructure, and producer organisation (OECD, 2024).

Red meat production in Türkiye relies predominantly on cattle. However, economic challenges facing the cattle industry in recent years have adversely affected production; as domestic output fails to meet consumer demand, the issue is being addressed through the importation of carcasses or live animals (Çimen and Güven, 2025). Efforts have been made to expand sheep farming—particularly to reduce the heavy reliance on cattle for red meat and to boost mutton production (İzmir Commodity Exchange, 2019). Consequently, incentives and support measures for sheep farming have become increasingly significant in recent years (Sevinç et al., 2022). A project titled the "Contracted Small Ruminant Farming Project under Producer Conditions" has been developed to advance sheep and goat farming in the country and to support producers in this sector (Palabıçak and Binici, 2023). The core objectives of this project are to bring underutilised pasturelands into production, ensure that sheep pens operate at full capacity, and provide social security coverage for individuals engaged in sheep farming in rural areas. The Ministry of Agriculture and Forestry, as the project implementer, launched the “Rural Abundance: Support for Small Ruminants Project” to increase the small ruminant population, strengthen rural production, support sustainability in livestock farming, encourage greater participation of youth and women in production, and make pasture-based production more profitable. Under the project, small ruminants belonging to the General Directorate of Agricultural Enterprises (TIGEM) are provided to producers under the coordination of the General Directorate of Livestock (HAYGEM) (Acar and Eser, 2021). This article aims to raise awareness regarding various projects—and their significance—designed to increase the income levels of sheep farmers in the country (particularly in rural areas) and, in doing so, indirectly safeguard indigenous genetic resources.

2. THE EVOLUTION OF SUPPORT POLICIES IN TÜRKİYE

Economic support measures for small ruminant farming in Türkiye changed and restructuring after the 2000s. While support was initially provided solely through per-animal payments, a shift toward production-oriented and performance-based support models occurred in subsequent years (Sevinç et al. 2022). Support measures implemented in recent years can be categorized under the following headings: breeding ewes and does, flock expansion and renewal, shepherd employment, breeding rams and bucks, disease-free status for farms, vaccination, young farmer grants, and the "Rural Abundance: Support for Livestock Farming" initiative (Yılmaz et al. 2020). The shared objective of these projects is not merely to increase the number of animals on farms, but also to enhance productivity, producer income, and the sustainability of rural life (Table 1).

Table 1. Economic contributions of support projects to the enterprise

Support type	Effect to farm
Yearling/doe	Generates a steady income.
Shepherd	It improves workforce quality
Breeding ewe/doe	It enables genetic progress
Vaccination	It reduces animal deaths
Credit	It expands the farm's capacity
Feed	It reduces production cost

3. THE AIM OF THE "PROSPERITY IN RURAL AREAS: SUPPORTING LIVESTOCK FARMING" PROJECT.

The aim is to increase the number of small ruminant farming enterprises and the number of breeding animals in the country, thereby meeting the demand for livestock through domestic genetic resources. In this context, the primary objective of the project is to ensure sustainability and self-sufficiency in the red meat supply (Ministry of Agriculture and Forestry, 2024). Under the project, TIGEM has provided 95 female and 5 male small ruminants to eligible beneficiaries. The contributions or benefits provided by the project are presented in Table 2.

Table 2. Primary objectives of support projects for small ruminant farming in rural areas.

Aim	Expected Effect
Increasing the number of animals	Increase in meat and milk production
To raise income levels	Increasing rural prosperity
Supporting women's entrepreneurship	Social development
Ensuring young people stay in rural areas	Reducing migration to major cities
Improving pasture use	Protection of natural resources
Conservation of native breeds	Maintaining genetic diversity
Increasing breeding stock production	Improving of yield
Digital herd management	Farm efficiency

4. APPLICATION CRITERIA FOR THE "ABUNDANCE IN RURAL AREAS: LIVESTOCK SUPPORT PROJECT"

Regarding the project application requirements, any individual who is a citizen of the Republic of Türkiye may apply, regardless of whether they currently operate a facility. For those already engaged in small ruminant breeding, a maximum limit of 105 female breeding animals (aged 450 days or older) applies, based on the TURKVET record dated December 31, 2025; operations possessing 106 or more female breeding small ruminants are ineligible to apply. Breeders who apply without an existing facility but are selected must establish a livestock facility of the required capacity at the application location within five business days of being notified by TIGEM regarding the animal procurement. Each breeder may apply for only one facility. Only one breeder per household may submit an application. Proof of residence is not required at the time of application; however, upon selection and receipt of the animals, the applicant is required to reside in the province or district where the facility for which they applied is located. Applicants intending to use a rented facility must provide a notarised lease agreement valid for a minimum of three years (Çiçek and Ayyıldız, 2020). Public institutions and organisations, legal entities, personnel employed by public institutions and organizations, individuals under the age of 18, those penalized under Law No. 5488, and beneficiaries of the "Expert Hands" and "Young Farmer" projects are ineligible to apply for this project. Furthermore, breeders listed as primary beneficiaries in the TIGEM "Abundance in Rural Areas: Livestock Support Project" and breeders who own cattle/buffalo operations (exceeding the 1–20 head range) recorded in the TURKVET system as of December 31, 2025—thereby falling outside the "family farm" status—are also ineligible to benefit from this project. However, reserve beneficiaries who did not procure animals through the "Abundance in Rural Areas: Livestock Support Project" may apply for this project (Unal and Dellal, 2023). If a call is issued by TIGEM to acquire animals under one of the two projects, the applicant must waive their beneficiary status in the other project. Small-ruminant operation capacity requirements are as follows:

95 females aged 13 months or older, 5 males' aged 13 months or older, and 100 lambs/kids aged 0–6 months, and sufficient capacity to accommodate the existing livestock. Breeders may benefit from this project only once.

5. APPLICATION LOCATION AND METHOD FOR THE "ABUNDANCE IN RURAL AREAS: LIVESTOCK SUPPORT PROJECT"

Project applications are submitted—accompanied by an application petition and the required attachments—by the applicant or their notary-certified proxy to the agriculture or forestry authorities in the province or district where the applicant's business is located or where they declare they will establish it. Applications open on April 1, 2026, and close at the end of the workday on April 30, 2026. The applicant acknowledges and undertakes that the information and documents submitted to the Provincial/District Directorate of Agriculture and Forestry are accurate and that no misleading information has been provided. During the application process, the application form attached to the petition must be completed. Documents verifying the information declared in the form are submitted by the applicant to the Provincial/District Directorates of Agriculture and Forestry. Applications are entered into the Livestock Project Application System by the provincial/district directorates. Following the application period—and once all applications have been entered into the software system, the suspension and objection processes have concluded, and objections have been evaluated—provincial/district lists are generated and forwarded to the provincial directorates. The provincial directorates retrieve the provincial application list in accordance with the specified schedule and forward it to HAYGEM; subsequently, the list is sorted by score on a provincial basis and sent to TİGEM (Akın and Şahinler, 2020).

6. SUPPORT PROVIDED FOR LIVESTOCK FARMING UNDER THE "ABUNDANCE IN RURAL AREAS" PROJECT AND APPLICATION PROCEDURE

Under the project, eligible beneficiaries are provided with 95 female small ruminants, 5 male breeding animals, one year of insurance (TARSIM), maintenance support for 12 months (150 TL per animal, paid quarterly), and access to Ziraat Bank loans. The animals are supplied by TIGEM. Certain eligibility criteria apply to applicants. Specifically, the following may apply to the project: individuals who are citizens of the Republic of Türkiye; those currently engaged in or wishing to engage in small ruminant farming; existing enterprises with a maximum of 105 breeding female small ruminants; and individuals who do not currently own an enterprise but commit to establishing one (HAYGEM, 2024).

7. DURATION AND FUNDING OF THE "ABUNDANCE IN RURAL AREAS: SUPPORT FOR LIVESTOCK FARMING" PROJECT

The targets and actions for 2024–2028, as outlined in the livestock roadmap, will be implemented during the 2026–2028 period. TIGEM will supply 95 female and 5 male small ruminants to the eligible beneficiaries of the project. Beneficiaries will be eligible to utilise the Ziraat Bank Basic Livestock Loan; this process will be evaluated by Ziraat Bank following the announcement of the beneficiaries. The prices of the small ruminants to be delivered under the project will be determined based on the sales prices published specifically for this project on TIGEM's website as of the delivery date, and beneficiaries may pay the animal costs either in cash or via the loan. The animals will be provided to beneficiaries with one year of TARSIM insurance coverage already in place; the cost of insurance for the subsequent year shall be borne by the beneficiary. A summary list of animals verified during inspections by Provincial/District Directorates of Agriculture and Forestry will be forwarded by HAYGEM to TIGEM. Starting the month following animal delivery, a total maintenance and feeding allowance of 450 TL per animal—calculated at 150 TL per quarter over 12 months—will be paid by TIGEM (TRGM, 2024).

8. KEY PRACTICES UNDER THE "ABUNDANCE IN RURAL AREAS: LIVESTOCK SUPPORT PROJECT"

Three distinct models have emerged within the scope of the project. The first is the agreement established with TIGEM. The second is the project led by Ziraat Bank. The third is the contract farming model implemented with the participation of Agricultural Credit Cooperatives (Murat, 2023; Bulut, 2025).

a. The "Contract-Based Small Ruminant Livestock Project at the Producer Level" (also known as the "300-Sheep Project") falls under the TIGEM Contract-Based Small Ruminant Livestock Project. TIGEM provides up to 300 breeding sheep and rams per producer to the livestock farmer. The project

aims to utilise pastures and bring underutilised sheepfolds into production. A purchase guarantee is provided for the offspring of the animals supplied to the farmers, as well as for specific products.

b. Ziraat Bank's Contracted Production Loan model offers low-interest agricultural loans that provide capital convenience to breeders engaged in contracted production. Within this system, special financial support—such as "Young Farmer" loans—is provided to breeders who wish to raise breeding sheep or goats and enter into a contracted production arrangement with a company or cooperative. Financing options include investment loans of up to 3,000,000 TL and operating loans with specific limits.

c. Contracted Procurement Models involving Agricultural Credit Cooperatives are executed with a focus on regional development, operating through the private sector or Agricultural Credit subsidiaries. The model functions on the principle that the cooperative provides in-kind support to the breeder, while the breeder sells the lambs they raise to the cooperative or to contracted meat processing facilities under the agreement. Additionally, under Current Alternative and Support Models—specifically the RDSP (Rural Development Support Program) for Agriculture-Based Investments—grant support is provided for the construction and modernisation of small ruminant barns. Finally, support is available for shepherd employment. There are also successful practices implemented in certain countries around the world regarding this matter; these examples are presented below (Table 3) (Verma et al., 2024).

New Zealand: Sheep farming in New Zealand operates entirely based on a registration system. Lamb productivity has reached high levels thanks to electronic tagging, flock management software, and genetic selection. Instead of providing direct per-animal subsidies, the government supports research and development, biosecurity, and export infrastructure.

Spain: In Spain, particularly in semi-arid regions, sheep farming is conducted in an integrated manner with pasture management. Under the European Union's Common Agricultural Policy, producers receive additional payments for adopting eco-friendly production practices.

Australia: Digital flock management, remote pasture monitoring, electronic identification, and genomic selection are widely used in Australia. Consequently, productivity increases while the need for labour decreases.

Table 3. Comparison of international support models

Country	Support Model	The most distinctive trait
Türkiye	Animal and production supports	Social development
New Zealand	R&D and exports	Digital management
Australian	Technology investment	Precision livestock farming
Spain	Environmental support	Pasture management
France	Cooperatives	Value-added production

9. DRAWBACKS OF SUPPORT PROJECTS

Small-ruminant support projects in rural areas, implemented in Türkiye as a strategic tool for sustainable rural development, offer significant opportunities regarding the increase of rural income and livestock production, as well as employment and pasture utilisation. However, certain structural issues and drawbacks encountered during implementation can hinder these projects from achieving their full expected impact. These drawbacks are discussed in detail below from a scientific perspective (Table 4).

Table 4. Negative aspects of the supported projects

Problem Area	Negative Aspects	Possible consequences
Project planning	Failure to adequately take regional differences into account	Inefficient use of resources
Procurement of Breeding Stock	Lack of high-quality breeding stock	Low yield

Problem Area	Negative Aspects	Possible consequences
Lack of education	Lack of technical knowledge among breeders	High lamb deaths
Finance	Insufficient working capital	Compromising sustainability
Marketing	Weakness of producer organizations	Low selling price
Climate changes	Drought and rangeland degradation	Increase in feed costs
Control	Lack of post-project monitoring	Decline in project success

10. GENERAL ASSESSMENT OF SUPPORTED PROJECTS

From the perspective of sustainable rural development, support projects for small ruminant farming should not rely solely on the distribution of animals. Successful projects must comprehensively incorporate the provision of high-quality breeding stock, pasture management, forage crop production, continuous technical consultancy, producer organisation, marketing infrastructure, digital herd management, and post-project performance monitoring (Dogan et al., 2018). Furthermore, climate change adaptation strategies and practices supporting young and female entrepreneurs should be integrated into the projects (Altıntaş et al., 2019). Unless this holistic approach is adopted, achieving long-term economic, social, and environmental sustainability goals will prove difficult, even if production increases are realised in the short term. Table 5 presents the key projects and assessments regarding the support of small ruminant farming in rural areas of Türkiye.

Table 5. Major Projects Aimed at Supporting Small Ruminant Livestock Farming in Rural Areas and Their Evaluation

Project / Program	Executing Agency	Practise Period	Main Target	Positive results	Problems encountered
Project for Supporting Livestock Farming for Rural Prosperity	Ministry of Agriculture and Forestry	2024–today	Providing support for breeding small and large ruminants to young producers.	Establishing new farms, increasing employment in rural areas	Insufficient working capital, high feed costs, and limited post-project consultancy.
Young Farmer Project	Ministry of Agriculture and Forestry	2016–2018	Integrating the young population into rural production	Distribution of small ruminants to thousands of young livestock farmers and support for rural entrepreneurship	Variations in breeding stock quality, high livestock losses in some regions, inadequate technical monitoring
IPARD Livestock Investments	Agriculture and Rural Development Support Institution	2011–today	Establishment and modernization of modern small ruminant enterprises	Modern housing, milking systems, biosecurity practices, increased productivity	High equity requirement, difficulty of access for small businesses
Support for Rural Development Investments	Ministry of Agriculture and Forestry	2006–Today	Support for agricultural investments	Increase in investments in machinery, equipment, and infrastructure	Small-scale producers facing difficulties in the application processes
Support for Breeding Sheep and Goat Farming	Ministry of Agriculture and Forestry	2005–today	Conservation and improvement of breeding herds	Increase in the number of animals with breeding potential, expansion of registered breeding	Support amounts lagging behind cost increases
Community-Based Breeding Project	General Directorate of Agricultural Research and Policies (TAGEM)	2005–today	Increasing the productivity of native breeds through selection	Genetic progress, development of recording systems	The limited number of businesses within the scope of the project
Shepherd Employment Support (Flock Manager Employment Support)	Ministry of Agriculture and Forestry	2014–today	Encouraging the employment of qualified herd managers.	The widespread adoption of professional herd management	Difficulty in sourcing qualified shepherds; insufficiency of the support amount.
Forage Crop Support Program	Ministry of Agriculture and Forestry	2000'li years-today	Increasing roughage production	Contribution to reducing feed costs	Failure to achieve the expected impact in every region due to drought and land scarcity.

Project / Program	Executing Agency	Practise Period	Main Target	Positive results	Problems encountered
Support for Returning to the Village and Young Entrepreneurs (various periods)	Various public institutions and development agencies	Different periods	Protection of the rural population	Encouraging young people to invest in rural areas.	Failure to ensure the continuity of the support provided

Source:www.tarim.gov.tr

CONCLUSION

Sheep and goat farming in our country represents a production sector capable of adopting and disseminating technologies designed to enhance productivity and quality. The contract-based small ruminant farming project plays a significant role in achieving these stated objectives. Implemented at the producer level, this project has the potential to contribute substantially to the sector's development. However, it is evident that the number of applications fell short of expectations, and the number of animals distributed per enterprise remained below the project's targets. The subsequent withdrawal of the feed and shepherd support originally included in the contract terms negatively affected the attitude of prospective producers toward the project. The requirement to supply purebred animals—stipulated in the project's initial contract—was ultimately removed due to the insufficient number of purebred animals in Türkiye and rising livestock prices. In summary, it is advisable to thoroughly analyse the project's implementation outcomes and evaluate the issues that have arisen to ensure the project's continuation.

REFERENCES

Acar, F. ve Eser, L. (2021). Türkiye'de ve Avrupa Birliği'nde tarımsal mali desteklerin karşılaştırılması. Global Journal of Economics and Business Studies, 9(18), 163-183.

Akın, Y., Şahinler, N. 2020. Avrupa Birliği Uyum Süreci Kapsamında Türkiye'de Hayvancılık Faaliyetleri ve Hayvancılıkla İlgili Politikaların Değerlendirilmesi. Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi 11-27 2020 (1)

Altıntaş G, Altıntaş A, Bektaş H, Çakmak E, Oruç E, Kızılaslan H, Birol D (2019). Effects of young farmer project support on the tendency of young farmers to stay in agriculture: Case of TR83 region, Turkey. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology 7: 1682-1693.

Ayyıldız M, Çiçek A, 2018. Kırmızı Et Fiyatlarının GARCH Yöntemiyle Analizi: Türkiye Örneği. Türk Tarım Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(12): 1775-1780.

Birol D, Yilmaz HI, Akdemir HA, Cobanoglu F (2020). Determination of parameters that can be criteria to young farmers supports in Turkey: Choice Experiment Method. Turkish Journal of Agricultural Economics 26: 131-146.

Bulut, Z. 2025. TÜRKİYE'DE HAYVANCILIĞIN GELİŞİMİ: SORUN ALANLARI, FIRSATLAR VE POLİTİKA ÖNGÖRÜLERİ . TÜRK AKADEMİSİ SİYASİ SOSYAL STRATEJİK ARAŞTIRMALAR VAKFI (TASAV) Sertifika No: 49150 29 Ekim Caddesi 2654. Sokak No: 1 Gölbaşı-Ankara

Çiçek, A., Ayyıldız, M. 2020. Üretici Şartlarında Sözleşmeli Küçükbaş Hayvancılık Projesinin Tokat İli Açısından Değerlendirilmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(2): 1329-1337

Çiçek, A., Ayyıldız, M., Erdal, G., Erdal, H. 2022. Türkiye'de Koyun Yetiştiriciliğinin Önemi ve Ekonomik Analizi. MAS JAPS 7(Özel Sayı): 1303–1322,

Çimen, M.,and A. Güven. 2025. Examination of numerical changes in goat and buffalo population in TRB1 Region with cluster analysis. Journal of the Institute of Science and Technology 15 (1): 364-371.

Dellal, G., Tekel, N., Dellal, İ. 2021. Small ruminant production systems in Türkiye: Current status and future prospects. *Turkish Journal of Agriculture–Food Science and Technology*, 9(10), 1845–1856.

Doğan HG, Kan A, Kan M, Tosun F, Uçum I, Solmaz C, Birol D (2018). Evaluation of the factors affecting the benefiting level from the young farmers project support in TR 71 Region of Turkey. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology 6: 1599-1606.

Doğan HG, Kan A, Kan M, Tosun F, Uçum İ, Solmaz C ve Birol D (2018). Türkiye'de genç çiftçi proje desteğinden yararlanma düzeyini etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6 (11): 1599-1606

FAO. 2024. *FAO Country Programming Framework for Türkiye*. Rome.

Gedik DS (2019). Rural Development Young Farmer Project: Sample of Tekirdağ Province. MSc. Thesis. Tekirdağ Namık Kemal University, Turkey.

HAYGEM, 2024. TARIM VE ORMAN BAKANLIĞI HAYVANCILIK GENEL MÜDÜRLÜĞÜ #Üretimin Üreticinin Yüzyılı NİSAN 2024.

İzmir Ticaret Borsası, 2019. Türkiye'de Koyunculuk Faaliyetinin Geleceği ve Sürdürülebilir Üretimi Projesi Çalıştay Sonuç Raporu, İzmir. https://itb.org.tr › img › userfiles › files. (Erişim tarihi: 15.11.2019).

Kandemir, Ç., Taşkın, T. 2022. Türkiye'de Koyun Irklarının Bölgelere Göre Durumu: İç Anadolu Bölgesi. IJAAES International Journal of Anatolia Agricultural Engineering Sciences 2022-4(4):97-105

Murat H, 2023. Türkiye'de hayvancılık sektöründe kooperatifler ve üretici birlikleri; damızlık sığır yetiştiricileri birliklerinin yeri, önemi, sorunlar ve çözüm öneri leri. Turk Vet J, 5(1), 1-7.

OECD. 2024. *Rural Well-being Country Note: Türkiye*. Paris: OECD Publishing.

Palabıçak, M. A., & Binici, T. (2023). Investigating the effects of dynamics and crises on livestock production in developing countries by using time series and future forecasting with ARIMA; a case study of sheep production in Türkiye. Applied Ecology and Environmental Research, 21, 5785-5806.

Satar, M., & Sakarya, E. (2021). Socio-economic analysis of ovine livestock farms supported by the young farmer project within the scope of rural development. *Kocatepe Veterinary Journal*, 14(4), 438–448.

Sevinç, G., Şahin, Z., & Aydoğdu, M. H. (2022). Türkiye'nin küçükbaş hayvan varlığı ile süt üretimindeki gelişmelerin son dönemlerindeki trend analizi. International Academic Social Resources Journal, 7(35), 377-384

TRGM, Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024). *Hayvancılık Desteklemeleri Uygulama Esasları Tebliği*. Ankara.

TÜİK. 2025. *Hayvansal Üretim İstatistikleri*. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu.

Ünal, G., Dellal, İ. (2023). Küçükbaş hayvancılığa verilen desteklerin çiftçi memnuniyeti açısından değerlendirmesi: Halk Elinde Küçükbaş Hayvan Islahı Projesi, Çankırı'da Akkaraman ırkı koyun ıslah alt projesi örneği. Journal of the Institute of Science and Technology, 13(1): 651-663.

Verma S, Malik YS, Singh G, Dhar P, Singla AK, 2024. Veterinerlik, hayvancılık ve ilgili hizmetler örgütü önemli uluslararası örgütler. Core Competencies of a Ve terinary Graduate (pp. 1-14). Singapur: Springer Nature Singapore.

Yılmaz, O., Ertuğrul, M., & Eliçin, A. (2020). Türkiye'de küçükbaş hayvancılığın mevcut durumu ve geliştirme olanakları. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 60(2), 91–104.

INDUSTRIAL ANIMAL PRODUCTION: AN ANALYSIS OF ITS ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Turgay TAŞKIN[1] **Sait ENGİNDENİZ[2]** **Çağrı KANDEMİR[3]**

[1] Prof.. Dr. Prof. Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, turgay.taskin@ege.edu.tr

ORCID: 0000-0001-8528-9760

[2] Prof.Dr. Ege University Faculty of Agriculture Department of Agricultural Economics sait.engindeniz@ege.edu.tr.

ORCID:

[3] Assos. Prof. Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, cagri.kandemir@ege.edu.tr,

ORCID: 0000-0001-7378-6962

Corresponding author: cagri.kandemir@ege.edu.tr

Abstract
In many parts of the world, livestock production is shifting towards industrial-scale animal husbandry. This approach entails raising large numbers of animals together—a practice generally defined as "factory farming." This operational model has become increasingly widespread as it aims to generate animal products on a massive scale through the intensification of production systems. Several factors have played a significant role in the transformation of livestock farming from small-scale family operations to large-scale corporate enterprises. These factors are, respectively: i) the projected rapid growth of the global population; ii) demographic factors, particularly age and urbanization; and iii) developments in socio-economic structures. With the global population projected to reach 9.1 billion by 2050, a substantial portion of the rural population is expected to migrate to urban areas, leading to a consequent rise in income levels. Changing urban lifestyles are influencing food consumption habits, resulting in a growing preference for semi-processed and/or ready-to-eat foods derived from animal products. This trend is widely observed in many urban regions where working hours have increased compared to the past. Indeed, this phenomenon has been unfolding over the last two decades, particularly in developing regions such as Southeast Asia, Sub-Saharan Africa, West Asia, and North Africa. In conclusion, the rate of increase in meat consumption is estimated to exceed 4% annually. Moreover, this shift has become a driving force behind the rapid growth of the meat production sector. Chicken meat holds a dominant position in the global meat industry due to higher consumer preference compared to other types of meat. In line with global trends in animal production, the steadily rising demand for these products has led to an intensification of livestock activities in Southeast Asia. Although industrial livestock farming practices are becoming increasingly widespread today, debates regarding their adverse effects—such as concerns over animal welfare, human health, and environmental degradation—are also intensifying. While addressing these issues is a challenging process requiring comprehensive scientific and empirical evaluation, the subject remains a matter of ongoing debate.
Keywords: Industrial livestock farming, Sustainable livestock farming, Animal welfare, Environmental impacts

1. Introduction

Agricultural activities—comprising crop production, livestock farming, agroforestry, and aquaculture—can operate in harmony with other sectors to foster rapid economic growth, alleviate poverty, and protect the environment (Bouamra-Mechemache et al., 2022). Livestock production plays a significant role in global social and political dynamics, accounting for more than 40% of the global agricultural gross

domestic product (GDP) (Steinfeld et al., 2006; The World Bank, 2009). Livestock products, which are of immense global importance, have proven capable of meeting one-third of human daily protein requirements (Elmadfa and Alexa, 2017). While livestock products can contribute to obesity, they also offer a potential solution to malnutrition (IICA, 2021). The livestock sector has been found to provide significant employment opportunities for approximately 1.5 billion people and serve as a source of livelihood for one billion of the world's poor (FAO, 2024). As noted in the Food and Agriculture Organization (FAO) publication *The Future of Food and Agriculture – Trends and Challenges* (2017), there has been a significant increase in the use of all necessary natural resources, alongside the adoption of Green Revolution technologies that boosted productivity (FAO, 2017). Despite this increase—with agricultural production more than tripling over a period of more than 55 years (1960–2015)—chronic and widespread hunger and malnutrition remain major problems in many regions of the Third World (UNPD, 2022). The current pace of progress does not appear sufficient to eradicate hunger by 2030 or even 2050 (FAO, 2025). Despite projected lower fertility and increased mortality risk factors in some societies, the world population is expected to grow by 2.6 billion over the next 47 years, reaching 8.9 billion by 2050. However, the realization of these projections depends on ensuring couples have access to family planning services and on the success of efforts to halt the current spread of the HIV/AIDS epidemic and curb its growth momentum (UN, 2025). The potential for significant population growth remains high. According to the results of the 2002 Revision, if fertility rates across all countries were to remain constant at current levels, the global population could more than double to reach 12.8 billion by 2050 (FAO, 2025). Agricultural production is also expected to continue rising alongside the growing global population; indeed, even under low-end estimates, the human population is projected to reach approximately 9.8 billion by 2050. Global demand for animal products is expected to be significantly higher than that for other agricultural commodities. Furthermore, the world is expected to become much wealthier, with the relative income gaps between developed nations and those currently classified as "developing" becoming less pronounced (Morrison and Murtin, 2011).

The intensification of animal production since its inception half a century ago has brought about a fundamental change for the animals involved. This shift is viewed as ethically incompatible with the moral values regarding animal care—values that are expected, at the very least, to align with religious principles. Interactions between humans and animals should be grounded in affection and care (Fraser, 2006). Numerous publications characterise commercial animal production as an activity that: a) negatively impacts animal welfare, b) is controlled by corporate interests, c) prioritizes profit over traditional husbandry practices, d) exacerbates global hunger, e) produces unhealthy food, and f) harms the environment (Coeugnet et al., 2023). In many developed countries, existing legal regulations concerning animal welfare are deemed inadequate. This is due to the need for fine-tuning or legislative adjustments to bridge the gaps and resolve differences of opinion between animal welfare advocates and industrial livestock operators (Sundrum, 2024).

The intensification of animal production since its inception half a century ago has brought about a fundamental change for the animals involved. This shift is viewed as ethically incompatible with the moral values regarding animal care—values that are expected, at the very least, to align with religious principles. Interactions between humans and animals should be grounded in affection and care (Fraser, 2006). Numerous publications characterize commercial animal production as an activity that: a) negatively impacts animal welfare, b) is controlled by corporate interests, c) prioritizes profit over traditional husbandry practices, d) exacerbates global hunger, e) produces unhealthy food, and f) harms the environment (Coeugnet et al., 2023). In many developed countries, existing legal regulations concerning animal welfare are deemed inadequate. This is due to the need for fine-tuning or legislative adjustments to bridge the gaps and resolve differences of opinion between animal welfare advocates and industrial livestock operators (Sundrum, 2024).

2. TRANSITION FROM TRADITIONAL PRODUCTION SYSTEMS TO INDUSTRIAL SYSTEMS

2.1. Factors Driving Change in the Global Livestock Sector

There are at least three fundamental forces capable of driving a radical shift in global livestock production systems from traditional methods toward industrial-scale operations. These are, respectively: a) the rate of global population growth, b) urbanisation and demographic factors, and c) improvements in socioeconomic status (Ducrot et al. 2024). According to data from the United Nations Department of Economic and Social Affairs (2019), the global population will continue to grow; however, this growth will occur at a slower pace compared to any period observed since 1950 (Table 1).

Table 1. Changes in the world population by region between 2010 and 2023

	YEARS			
Regions	**2010**	**2015**	**2020**	**2023**
World	7021732	7470491.299	7887000.764	8091734.434
Africa	1072216.496	1220075.495	1380821.169	1480770.525
East Africa	335533.151	395330.796	451202.854	487857.331
North Africa	220685.211	232669.196	256299.475	268541.105
South Africa	59594.873	64548.533	69085.492	72197.701
America	934293.896	982256.77	1024463.733	1041794.258
North America	345386.052	362214.162	377734.349	382902.742
South America	390701.059	409619.91	426213.516	433024.175
Asia	4239822.673	4483307.893	4688113.371	4778004.486
Europe	738144.697	744236.463	749523.517	745602.379
Australian and New Zealand	26489.351	28562.031	30813.686	31623.96
Least Developing Countries	855529.921	962708.547	1083853.569	1161055.55
Small island countries	64395.157	68185.224	71178.637	72894.707

Source: FAOSTAT, 2023

Between 2010 and 2023, population growth—albeit varying in relative terms—was observed across all continents and regions. The largest overall increase occurred in Asia, followed by Africa and the Americas. Australia and New Zealand were the regions with the lowest population growth. Estimates regarding population growth and projections for the period from 1950 to 2050 are presented in Table 2. While the three most populous regions in the 1950s were Asia, Europe, and Africa (in that order), the projected ranking for 2050 is Asia, Africa, and Latin America & the Caribbean.

Table 2. Actual population by region in the 1950s and projected regional population estimate for 2050.

	Changes in population by region in the 1950s			Projected population change by region in 2050			
Order	Region	Population	World rate (%)	Order	Region	Population	World rate (%)
1	Asia	1.368.075.415	54,87	1	Asia	5.280.378.401	54,64
2	Europe	548.867.473	22,02	2	Africa	2.466.647.618	25,52
3	Africa	227.776.419	9,14	3	Latin America and the Caribbean	730.056.747	7,55
4	North America	168.009.338	6,74	4	Europe	703.027.759	7,27
5	Latin America and the Caribbean	167.782.158	6,73	5	North America	426.579.885	4,41
6	Oceania	12.582.044	0,50	6	Oceania	57.688.178	0.60

Source:www.worldometers.info/tr/dunya-nufusu/bolgelere-gore-nufus/

According to the United Nations' (UN) latest population projection based on the "medium variant" assumption, the world population is expected to rise by 34 per cent, growing from the current level of

6.8 billion to 9.1 billion by 2050. A significant portion of this projected growth is expected to occur in developing countries; however, the East Asia region has been excluded from this calculation as it is no longer considered part of the developing world. In fact, this region is projected to shift toward negative population growth by the late 2040s (FAO, 2025). In contrast, population growth in Sub-Saharan Africa (SSA) is expected to continue at an annual rate of 1.2 per cent. Even if the overall growth of the world population were to halt at some point during this century, rapid population growth could continue to pose a significant obstacle to improving food security in certain countries. It is noteworthy that the bulk of the anticipated urban population growth will be concentrated in the cities and towns of less developed regions. Specifically, the urban population is projected to increase by 1.7 billion in Asia, 0.8 billion in Africa, and 0.2 billion in Latin America and the Caribbean. Consequently, as population growth is largely concentrated in the developing world, it is increasingly becoming an urban phenomenon (Satterthwaite et al., 2010).

Although the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2025) exhibited some slight uncertainty when formulating projections for food demand in 2050, the vast majority of policymakers chose to base their decisions on the forecast of a 70% increase in total demand for agricultural products, rather than the organization's 60% estimate (OECD, 2024). This has been a primary driver of the profound transformation currently underway in agricultural production. A similar situation applies to the livestock sector—a global asset valued at least $1.4 trillion that covers approximately 30% of the planet's ice-free land surface and is projected to undergo significant change due to population dynamics. Urbanisation has been linked to shifts in dietary habits—partly in response to long working hours—towards a greater consumption of semi-processed and/or pre-prepared ready-to-eat foods, as well as to reduced physical activity among segments of the urban population (Amin et al., 2023). Furthermore, food demand will be influenced by how the associated economic growth alters income distribution. This phenomenon is, in fact, a consequence of the positive economic growth observed in developing countries. India serves as a prime example; the rise in income levels among urban populations there has clearly driven up demand for animal products, particularly poultry meat and eggs (Speedy, 2003). A third key factor driving the increased demand for animal products is socioeconomic improvement, such as rising incomes. Between 1950 and 2000, an annual growth rate of 2.1 per cent in per capita income was recorded on a global scale. As income rises, expenditure on animal products also increases relatively. In other words, economic growth can be expected to continue in the near future.

2.2. Poultry Production and Industrial Farming

In 2023, the global poultry population was recorded at approximately 24 billion birds (TEPGE, 2025). As growth in the livestock sector is expected to continue—driven by a projected 70% increase in demand for products between 2005 and 2050—poultry meat is anticipated to see the largest increase among various meat types. The projected rise in demand could reach levels of 120% by 2050. The Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) has estimated that the global poultry population will reach approximately 35 billion birds by 2050 (Makarynska and Vorona, 2024). A significant portion of current poultry products originates from intensive food animal production (IFAP) or factory-style livestock operations. By definition, this type of operation is a rearing method in which more than 8,000 to 15,000 poultry birds are housed for a specific period within enclosed facilities equipped with semi- or fully automated environmental control systems and other necessary infrastructure. Intensive poultry production continues to expand in many regions of the world. In the European Union (EU) alone, it is estimated that 90% of the total chicken population is raised in intensive indoor systems; conversely, the proportion raised in free-range systems is at most 5%, while approximately 5% are raised in alternative indoor systems that are less intensive than those mandated by legislation or industry standards (EUROSTAT, 2026). Global poultry meat production reached approximately 123 million metric tons in 2018. Three major poultry-producing nations—the United States (USA), China, and Brazil—led this achievement (AVEC, 2025). However, the growth in total meat production remained relatively stagnant, with a recorded increase rate of only 1.7% (Table 3).

Table 3. Change in meat production by species (2015–2024)

Meat production	YEARS			2024-2015 (%)
	2015	2020	2024	
Total meat production	326539490.59	338123533.66	38123533.6	2.88
Beef+water buffalo meat	67994627.11	70895597.17	77047344.52	9.05
Poultry meat	117559333.96	135095425.19	146150986.09	2.80
Sheep+goat meat	15751543.11	17402525.79	19281995.5	3.53

Source: FAOSTAT, 2024. www.fao.org/faostat/en/#data

2.3. Cattle Production and Industrial Development

While the global cattle population rose from 0.94 billion to 1.53 billion head between 1961 and 2021, beef production—measured by carcass weight—increased from 27.7 million tons to 72.4 million tons during the same period (Figure 1). The recent (2011–2021) growth in global beef production was driven more by the expansion of the cattle herd (0.67% annually) than by productivity gains (0.46% annually). Although total production has followed a roughly linear trajectory without showing clear signs of reaching a plateau, the annual relative growth rate of production has declined from approximately 4% in the 1960s to 1%. This trend, combined with rapid population growth, has led to a decrease in per capita beef production. National-level trends indicate that some countries are following a trajectory consistent with the "producing more with less" approach (De Vita and Basso, 2025); that is, production increases are occurring even where cattle numbers remain stable or decline. In these systems, productivity generally exceeds the global average of 48 kg per animal annually (carcass equivalent), reaching levels as high as 128 kg by 2021 (FAO 2025).

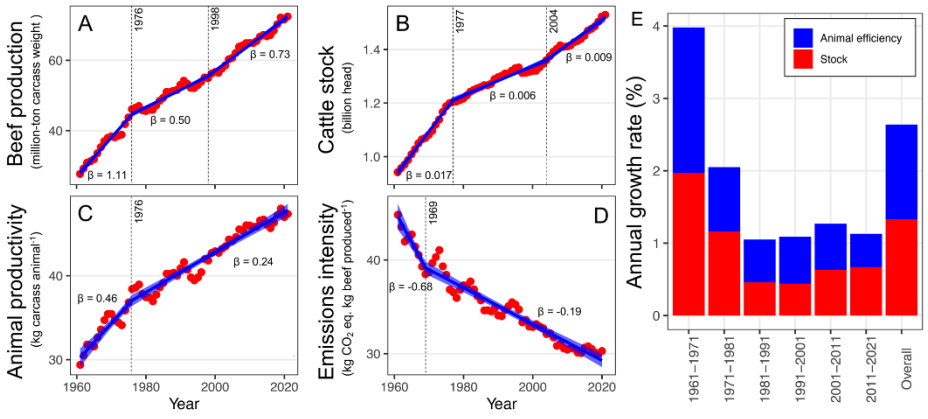


Figure 1. Decomposition of global trends and the increase in beef production into their components (1961–2021).
Source: Caram ve ark. 2026. Agric Environ Lett. 2026;11:e70086

The diversity in forage resources, land use, and management practices across countries demonstrates that similar outcomes can be achieved through different pathways. For instance, feedlot and improved pasture systems can deliver high yields with fewer animals, though they may entail certain environmental trade-offs (Picasso et al., 2014). Conversely, systems based on natural grasslands and pastures (Caram et al., 2023) can enhance productivity while preserving ecosystems of high biodiversity and socioeconomic value, thereby strengthening their competitive position. While such outcomes depend on specific contexts and conditions, this perspective aligns with the ecological intensification approach (Soca et al., 2024) and underscores the need to evaluate "producing more with less" within broader sustainability frameworks. In contrast, there are various countries that appear to follow a

"producing less with more" model, characterized by rising cattle numbers alongside declining productivity. Productivity in these systems remains below the global average, likely reflecting limited improvements in forage availability and nutritional quality, genetics, or herd management. From a biophysical standpoint, this model corresponds to a scenario where resources are directed toward sustaining larger herds rather than increasing per-animal production. Paradoxically, this trend—compounded by population growth—has led to continuous declines in both total and per capita beef production. As a result of these annual decreases, ranging from 0.3% to 4.9%, per capita production levels averaged between 1 and 15 kg by 2021. Despite prevailing negative trends, the presence of over 500 million low-productivity animals presents a significant opportunity to improve existing systems and align food demand with production, socioeconomic, and environmental goals. Other countries are demonstrating simultaneous increases in livestock numbers and productivity. These complex trends may point to the Jevons paradox, where modest productivity gains are linked to continued herd expansion. Despite data limitations, these trends highlight persistent gaps in productivity per animal—gaps that often underlie broader challenges and inform the development of context-specific strategies for sustainable development within a biophysical framework (Caram et al. 2026).

3. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF INDUSTRIAL LIVESTOCK FARMING

Industrial livestock farming refers to modern production systems developed based on high-efficiency principles to meet the animal protein needs of the growing global population. This production model aims to increase yield per animal by integrating innovative approaches such as advanced genetic material, balanced feeding programs, automation technologies, biosecurity measures, and precision herd management (FAO, 2023). A significant portion of the increase in global meat, milk, and egg production—particularly over the last half-century—has been achieved through the widespread adoption of industrial production systems (OECD & FAO, 2024). One of the key advantages of industrial livestock farming is its contribution to the continuity of the food supply by enhancing production efficiency. Controlled feeding, disease management, and environmental control systems implemented in modern facilities improve animal growth performance, milk yield, and feed conversion rates. This enables a reduction in production costs per unit of product and allows animal products to be offered to consumers at more stable prices (Thornton, 2010). The use of automation systems in large-scale operations increases labour productivity and facilitates the standardisation of production processes (Table 4). At the same time, industrial livestock farming makes significant economic contributions to rural development and the growth of agro-industries. Many sectors—such as dairy and meat processing, feed production, veterinary services, and logistics—are directly linked to livestock activities. Consequently, this generates employment and adds value to the national economy (OECD & FAO, 2024). However, industrial production systems also entail certain significant disadvantages. Environmental impacts are foremost among these. The livestock sector contributes substantially to global greenhouse gas emissions through the release of methane, nitrous oxide, and carbon dioxide. In particular, the improper management of manure generated in intensive production systems can lead to the pollution of soil and water resources (Gerber et al., 2013). Furthermore, the use of vast agricultural areas for feed production, increased water consumption, and heightened pressure on natural ecosystems pose significant challenges regarding sustainability (Steinfeld et al., 2006). Another issue of debate concerning industrial livestock farming is animal welfare. High animal density, limited space for movement, and production-oriented rearing practices can restrict animals from exhibiting natural behaviors and increase their stress levels. In recent years, shifting consumer expectations have led to growing interest in welfare-friendly production systems (Fraser, 2008). Antimicrobial resistance, which can arise from the intensive use of antibiotics, is considered a global public health issue affecting both animal and human health (WHO, 2023). Consequently, while industrial livestock farming offers significant advantages in meeting rising food demand, it also entails risks regarding environmental sustainability, animal welfare, and public health that require careful management. To develop sustainable livestock systems in the future, it is crucial to promote the adoption of precision livestock farming technologies, AI-driven herd management, effective waste management, and welfare-oriented rearing practices. In this way, environmental impacts can be reduced, and the long-term sustainability of the livestock sector supported, all while maintaining production efficiency.

Table 4. Advantages and Disadvantages of Industrial Animal Production

Parameters	Advantages	Disadvantages
Economic	It employs in rural areas. It creates a source of regular income for farmers. It produces high-value-added products such as meat, milk, eggs, wool, and hides. It contributes to exports.	High feed costs can reduce profitability. Diseases and market fluctuations can lead to economic losses.
Food Safety	It meets people's needs for high-quality protein, vitamins, and minerals. It contributes to a balanced diet.	Improper production practices can pose food safety risks. Antibiotic residues and zoonotic diseases can threaten public health.
Agricultural Production	It operates in integration with crop production. Animal manure increases the soil's organic matter content. Agricultural by-products can be utilized as animal feed.	Overgrazing can lead to pasture degradation. Manure management can pose a problem in intensive production systems.
Environmental	The use of organic fertilizer can reduce the need for chemical fertilizers. Proper management of pastures can support biodiversity.	Methane and nitrous oxide emissions contribute to the formation of greenhouse gases. Water consumption and environmental pollution may increase.
Social	It contributes to the rural population remaining in place. It supports the preservation of the traditional way of life.	The competitiveness of small family businesses may decline. The drift of the young population away from the sector could lead to labor shortages.
Animal Welfare	Well-being practices in modern businesses can boost productivity.	Welfare problems can arise in intensive farming systems. Improper care and management can increase the risk of disease.
Natural Resource Use	It enables the utilization of pasture areas that would otherwise go unused. Plant-based products unsuitable for human consumption can be used as animal feed.	Intensive use of water, land, and feed resources can place pressure on natural resources.
Rural development	It supports the development of agriculture-based industry. It strengthens cooperatives and the local economy.	It supports the development of agriculture-based industry. It strengthens cooperation and the local economy.

Source: FAO. (2023). *The State of Food and Agriculture 2023*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

OECD & FAO. (2024). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2024–2033*. OECD Publishing.
Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. FAO.
Thornton, P. K. (2010). Livestock production: Recent trends, prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365*(1554), 2853–2867.
World Health Organisation (WHO). (2023). *Antimicrobial Resistance*. Geneva: WHO.

4. INDUSTRIAL ANIMAL PRODUCTION AND ITS IMPACTS

Today, it is evident that livestock farming for animal production is increasingly shifting toward the Industrial Food Animal Production (IFAP) model, in which animals are housed in high-density environments. Such an operational structure resembles an industrial facility rather than traditional animal husbandry; in other words, each animal in the herd is viewed more as a unit of production than as a living being. From an ethical perspective, confining large numbers of animals in such restricted spaces can be seen as a loss of the moral values associated with traditional animal care (Eraser, 2005). There are at least three fundamental issues regarding animal welfare and human well-being arising from industrial food animal production that are likely to generate conflicting impacts. These issues—which have long been debated, eliciting arguments both for and against—await appropriate solutions. The two types of solid waste shown in the image can be considered potential sources of anthropogenic pollution that may pose risks to humans, animals, and all other living organisms within the ecosystem. In fact, there are at least three primary types of gaseous pollutants—originating generally from agricultural

activities and, more specifically, from livestock production—that are implicated in this context. Two of these are methane and nitrous oxide—non-carbon dioxide greenhouse gases commonly associated with livestock production. A report on global greenhouse gas emissions from the year 2000 indicated that these three types of gases, originating from global agricultural activities, accounted for more than 30% of total global greenhouse gas emissions. Agricultural activities rank as the second-largest source of anthropogenic greenhouse gas emissions, following the energy sector (EPA, 2024).According to data released by the FAO in 2005, total global anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions resulting solely from livestock activities were estimated at 7.1 giga tons of carbon dioxide equivalent for the year 2004 (Gerber et al., 2013). Based on the most recent estimates by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), this amount corresponds to 14.5 per cent of human-induced greenhouse gas emissions. Although a subsequent study was based on a much more detailed analysis incorporating significant methodological improvements and enhanced datasets, this absolute value is consistent with previously published data (FAO, 2006). Projections regarding current climate disruption caused by human activities include a scenario in which temperatures could rise by up to 4°C over the next 40 to 75 years. From an agricultural perspective, such climate change could lead to the drying out of vast areas of land that are currently productive. Cold regions, such as the tundra in the Northern Hemisphere, will not necessarily become suitable for crop production. More specifically, there is no reason to assume that agriculture will adapt rapidly enough to any climate change resulting from the global warming trend. Methane and nitrous oxide are the primary greenhouse gases contributing to global warming. These gases also participate in photochemical reactions that determine the concentrations of ozone and hydroxyl radicals in the troposphere. Hydroxyl radicals are also commonly referred to as the "detergents of the atmosphere" because they are responsible for removing almost all gases released through both natural processes and human activities from the environment (Martinez et al. 2009).

4.1. Environmental Impacts

Anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions resulting from the aforementioned agricultural activities represent only a small fraction of how the sector contributes to global atmospheric degradation; the sector causes significant GHG emissions not only directly through industrial animal food production (IFAP) practices but also indirectly through the large-scale production of feed and grain required to sustain vast numbers of livestock. Large quantities of chemical fertilizers, used primarily to enhance soil fertility, have over time led to the formation of more serious pollutants (Al-Fayez, 2025). Furthermore, modern livestock production systems differ radically from traditional methods of the past, when animal feeding relied solely on locally grown forage crops or even lower-value agricultural by-products. The intensification of livestock production has driven significant changes in land use. Agricultural activities have increasingly shifted toward remaining unused, fertile, and arable lands, rather than utilising marginal or abandoned lands in remote areas with poor soil quality. As production has concentrated on more accessible and productive lands, these areas have become susceptible to overuse. Since human life depends on the bounty of the soil, soil health—alongside water resources—is a vital asset for humanity. Consequently, soil degradation poses a serious threat to food security; it reduces yields, compels farmers to increase input usage, and can ultimately lead to land abandonment (Zhang et al., 2021).

4.2. Public Health

Air quality is another crucial factor in protecting human health; however, it is threatened by the increasing release of gaseous pollutants resulting from the operations of Industrial-Scale Animal Production (IFAP) facilities. For instance, it is estimated that IFAP facilities in the US generate over 133 million metric tons of solid waste annually (Almorox, 2023). While some of this waste is processed or utilised as soil fertiliser, a significant portion is stored in massive waste lagoons; from these storage sites, two common toxic gas compounds—ammonia and hydrogen sulfide—can be continuously released into the environment. Global livestock production has been reported to contribute to more than 64% of ammonia emissions, which are considered a primary cause of ecosystem acidification and acid rain (Hardianti et al., 2025). Numerous studies have examined the impact of degraded air quality around IFAP facilities on the people living in those areas. As noted by Heederik et al. (2007), IFAP facilities release various toxic gases and vapours into both the workplace environment and the surrounding area. Occupational health studies, in particular, have provided data on exposure levels to ammonia, hydrogen

sulfide, and carbon dioxide. The characteristic odor of an IFAP facility results from a complex mixture of these gases and numerous volatile and semi-volatile organic compounds. Odor emissions are specifically linked to quality-of-life issues for the populations exposed to them.

Certain gases, such as hydrogen sulfide, are used as indicators to estimate or regulate exposure to the complex mixture in question. In fact, there is limited information regarding changes in lung function among populations living near Industrial-Scale Animal Production (IFAP) facilities. Although emission studies and modelling approaches are useful, the data derived from them have proven insufficient to establish a link between exposure and health outcomes; this may be because exposure levels for farm workers and others near the facilities depend entirely on individual activity patterns and the time spent in proximity to various sources. A recent report from Germany revealed a significant increase in the prevalence of self-reported wheezing and a decrease in Forced Expiratory Volume in 1 second (FEV1) among individuals residing in close proximity to multiple intensive animal feeding operations; this may indicate inflammatory effects on the lungs caused by hazardous gas emissions from IFAP sources (Radon et al. 2007).

4.3. Aspects Concerning Animal Welfare

To many of us, the process of intensification in livestock production has appeared to be solely about focusing on how to achieve a massive increase in the output of protein-rich foods for the populations that need them most, by utilising farm animals efficiently—much like "machines." This may explain why any procedure performed on animals within industrial livestock farming—operations that are, at their core, driven purely by profit—is perceived as violating ethical and moral values. Fraser (2005) noted that the intensification of animal production coincided with a period of rising public interest in animals and growing concerns regarding animal welfare. This development also clashed with two deeply rooted and cherished images of animal husbandry—images that could be argued to have provided much of the moral legitimacy for animal rearing and slaughter practices in the West. Consequently, agricultural intensification in the context of animal production was viewed not merely as a controversial, and perhaps irrational or unsustainable, shift in food production, but also as an affront to established moral values. Ultimately, this situation triggered a condemnation characterised by intense emotional reactions and harsh language, rather than a reasoned debate (Anwar and Yaman Fırıncıoğlu, 2024). In the context of work conducted by the World Organization for Animal Health (OIE, 2017) and discussions regarding the accurate translation of the term "Animal Welfare," the Terrestrial Animal Health Standards Commission defined animal welfare as a concept describing how an animal copes with the conditions in which it lives. An animal is considered to have a good level of welfare if it is healthy, comfortable, well-nourished, and safe; can express natural behaviors; and is free from unpleasant states such as pain, fear, and distress (as demonstrated by scientific evidence) (Keeling, 2024). Good animal welfare entails appropriate housing, care, nutrition, humane treatment, and humane slaughter or killing methods, in addition to disease prevention and veterinary services. Animal welfare refers to the state of the animal itself, whereas the treatment of the animal falls under other terms such as animal care, animal husbandry, and humane treatment.

CONCLUSION

As the prevailing forecast for the increase in food production required to feed the growing global population by 2050 points to a 70% rise, industrial agricultural practices have emerged as the preferred method. This trend has led to industrial operations increasingly replacing small and medium-sized farms, primarily on the grounds of economic efficiency. This shift has become widespread not only in developed nations but also in many developing countries. Similarly, in the livestock sector, a greater number of industrial facilities for raising food-producing animals have been established compared to small-scale operations. These food production trends appear to have adverse effects on animal welfare, public health, and ecosystems. Industrial animal production has caused environmental degradation by contributing to air pollution—through the emission of toxic and greenhouse gases—as well as water pollution and land degradation. Both solid and liquid animal wastes generate significant greenhouse gas emissions that can contribute to rising global temperatures; meanwhile, the large quantities of chemical fertilisers widely used—primarily to enhance soil fertility—have also led to the release of major pollutants. There is a risk of nutrients—specifically nitrogen and phosphorus—leaching into water

sources such as rivers and lakes from both agricultural activities and industrial livestock operations. This phenomenon is known as eutrophication or the excessive accumulation of nutrient pools. The ecological response to this has been the rapid proliferation of plankton, microorganisms, and algae, which are harmful to the ecosystem, including most humans. At this stage, perhaps only efforts to minimize the environmental damage already caused can be undertaken. Regarding the welfare of livestock in agricultural operations, numerous regulatory overhauls may be required to transition to more precise and clear standards. The establishment of Concentrated Animal Feeding Operations (CAFOs) should be prohibited, and the use of antibiotics—except for therapeutic purposes—must be subjected to strict oversight and rigorous regulations.

REFERENCES

ACEV, 2025. Annual report 2025. AVEC is the voice of the European poultry meat sector. avec-poultry.eu/wp-content/uploads/2025/08/07394-AVEC-annual-report-2025.pdf

Al-Fayez, Khalid 2025. Industrial Pollution: Impacts, Solutions, Environmental Justice. Pollution, Volume 8:3, 2025

Almorox, Javier. 2023. An Impact of Industrial Wastes on Human Health. International Research Journal of Research in Environmental Science and Toxicology Vol. 12(6) pp. 1-2, November, 2023

Amin, Rosnita Mohd, Shohaime,Nur Ain., Rozaiman, Noruzana., Mohmad, Muhaini., Sha,Md Tarmizi Tami., Hassan, Mohd Shuib Mohd., Kamaludin, Noor Haziqah., Shafie, Farah Ayuni. 2023. Urbanization and Changing Dietary Habits. Journal of Environmental Health Vol. 5, No. 1 (2023) 9-11

Anwar, Ayesha., Yaman Firincioğlu, Sema . 2024. Impacts of Climate Change on Animal Production and Product Quality. Eurasian Journal of Agricultural Research 2024; Vol: 8, Issue: 1, pp: 107-121

Bouamra-Mechemache, Zohra, Chatellier, Vincent , Luc Delaby, Cécile Détang-Dessendre, Jean-Louis Peyraud, et al.. 2022. Why and how to regulate animal production and consumption: the case of the European Union. 14. Journées de Recherches en Sciences Sociales, Apr 2021, Clermont-Ferrand, France. ⟨hal-03215198⟩

Caram, N., Sollenberger, Lynn E., Wallau, Marcelo O., Adesogan, Adegbola., Baethgen, Walter E. 2026. Global beef production: Trends, challenges, and opportunities forsustainable development. Agric Environ Lett. 11:e70086

Caram, N., Soca, P., Sollenberger, L. E., Baethgen, W., Wallau, M.O., & Mailhos, M. E. 2023. Studying beef production evolution toplan for ecological intensification of grazing ecosystems. AgriculturalSystems, 205, 103582

Coeugnet P., Labatut J., Duval J., Vourc'h G. 2023. Including citizens through co-design in a participatory research project to explore innovative agro-food systems: the case of future dairy livestock systems. Frontiers in https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1098295

De Vita, P., Basso, B. 2025. The risk of the 'producing more with less' narrative. Nature Food, 13, 1–2.

Ducrot C., Barrio M.B, Boissy A., Charrier F., Even S., Mormède P., Petit S., Pinard-van der laan M.H., Schelcher F., Casabianca F., Ducos A., Foucras G., Guatteo R., Peyraud J.L., Vayssier-Taussat M., Veysset P., Friggens N.C., Fernandez X. 2024. Animal board invited review: Improving animal health and welfare in the transition of livestock farming systems: Towards social acceptability and sustainability, Animal 18, 101100. https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101100

Elmadfa, I., Meyer, Alexa L. 2017. Animal Proteins as Important Contributors to a Healthy Human Diet.Annu. Rev. Anim. Biosci. 2017. 5:111–31

EPA, 2024. FY 2024 Annual Performance Report,www.epa.gov/system/files/documents/2025-01/fy24-annual-performance-report.pdf

EUROSTAT, 2026. Statistics Explained (https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/)- 02/06/2026

FAO 2006. Environmental issues and options Livestock's long shadow ed H Steinfeld, P Gerber, T D Wassenaar, V Castel, M Rosales, M Rosales and C de Haan (Rome: Food & Agriculture Org.)

FAO 2017 The future of food and agriculture: Trends and challenges (Rome)

FAO 2024. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024 – Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. Rome. https://doi.org/10.4060/cd1254en

FAO, 2025. The State of Food Securıty and Nutrıtıon In The World. Addressing High Food Price Inflation for Food Security and Nutrition. Addressing high food price inflation for food security and nutrition. Rome. https://doi.org/10.4060/cd6008e

Fraser D G 2005 Animal welfare and the intensification of animal production: An alternative interpretation vol 2 (Rome: Food & Agriculture Org.)

Fraser D 2006. Animal welfare assurance programs in food production: a framework for assessing the options Anim. Welf. 15 93

Gerber P J, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A and Tempio G 2013. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. (Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO))

Hardianti, Sri., Tanjung, Lailatul Syifa., Yusmita, Yesi., Irawan, Joni. 2025. Industrial Environmental Health as an Effort to Prevent Environmental Impacts and Occupational Diseases. Journal of Engineering Science and Technology Management- VOL.5 NO. 2 (2025) 2828 -7886

Heederik D, Sigsgaard T, Thorne P S, Kline J N, Avery R, Bønløkke J H, Chrischilles E A, Dosman J A, Duchaine C and Kirkhorn S R 2007. Health effects of airborne exposures from concentrated animal feeding operations Environ. Health Perspect. 115 298–302

IICA (Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture), 2021, The Importance of Livestock Production and Animal Protein: The Western Hemisphere Perspective. web site: http://www.iica.int., San Jose, Costa Rica

Keeling, L.J. 2024. Looking back, looking forward: changes in the scope of the subject 'animal welfare' within the World Organisation for Animal Health. Scientific anad Technical Review (Special Edition): 124-128

Külcü, R. 2019. Endüstriyel Hayvancılığın Etik Eksende Sorgulanması. Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi, 5(1):11-26

Maddison A 2003 The World Economy Historical Statistics Development (Paris)

Makarynska, A., Vorona, V. 2024. Analysis of The State of The Poultry Industry And Hidden Opportunities. Grain Products and Mixed Fodder's, Vol.24, I.2 (94) / 2024

Martinez J, Dabert P, Barrington S and Burton C 2009 Livestock waste treatment systems for environmental quality, food safety and sustainability Bioresour. Technol. Elsevier 100**:** 5527–36

Morrisson, C., Murtin, F. 2011. Average income inequality between countries (1700-2030). FERDI fondation pour les études et recherches sur le development international. ferdi.fr/dl/df-3ccxatVX4ED68ofXBfvLpFs4/ferdi-p25-average-income-inequality-between-countries-1700-2030.pdf

OECD, 2024. OECD–FAO Agricultural Outlook 2024–2033. openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a252ac81-b457-45fd-9688-2ec25a467f2d/content

OIE 2017. OIE GLOBAL ANIMAL WELFARE STRATEGY. OIE WELFARE PORTAL www.oie.int/animalwelfare

Picasso, V. D., Modernel, P. D., Becoña, G., Salvo, L., Gutiérrez, L.,Astigarraga, L. (2014). Sustainability of meat production beyondcarbon footprint: A synthesis of case studies from grazing systems in Uruguay. Meat Science, 98(3), 346–354

Radon K, Schulze A, Ehrenstein V, van Strien R T, Praml G and Nowak D 2007 Environmental exposure to confined animal feeding operations and respiratory health of neighbouring residents Epidemiology 300–8

Satterthwaite D, McGranahan G and Tacoli C 2010 Urbanization and its implications for food and farming Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 365 2809–20

Soca, P., Do Carmo, M., Paparamborda, I., Figueroa, V., Scarlato, S.,Ruggia, A., Dogliotti, S., Claramunt, M. 2024. A hierarchicalresearch model to foster dialog between grazing ecology and beef cow energetics to support ecological intensification of native grassland.Animal, 19, 101372

Speedy, Andrew W. 2003. Animal Source Foods to Improve Micronutrient Nutrition in Developing Countries. American Society for Nutritional Sciences, 0022-3166/03 $3.00 2003.

Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T D, Castel V, Rosales M, Rosales M and de Haan C 2006. Livestock's long shadow: Environmental issues and options (Naibori: Food & Agriculture Org.)

Sundrum, A., 2024. Why Has Animal Science Not Led to Improved Farm Animal Health and Welfare? Frontiers in Animal ScienceFront. 4:1214889. https://doi.org/ 10.3389/fanim.2023.1214889.

TEPGE, 2025. Kümes Hayvancılığı Durum Tahmin Raporu 2025. Araştırma Yayınları 2025 TEPGE Yayın No: 427 https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge

The World Bank. 2009. Minding the Stock: Bringing Public Policy to Bear on Livestock Sector Development. The International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank, Washington, D.C.

UN, 2025. The World's Cities in 2025. The World's Cities in 2025 • Data Booklet. www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd_2025_data-booklet_world_cities_in_2025.pdf

UNPD 2022. World Population Prospects Summary of Results. UN DESA/POP/2021/TR/NO. 3. www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf

Zhang, Wenjie., Korhonen, Anna., Taylor, Samuel . 2021. "Industrial Sym biosis and Waste Valorization for Sustainable Factory Pollution Reduction." Resources, Conservation and Recycling 167 (2021):105295.

ULTRAVİYOLE IŞIK UYGULAMALARININ SEBZELERDE BÜYÜME, FİZYOLOJİK PERFORMANS VE FİTOKİMYASAL KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Yelderem AKHOUNDNEJAD
Şırnak Üniversitesi,
yakhoundnejad@sirnak.edu.tr - 0000-0002-1435-864X

Doç. Dr. Yahya NAS
Şırnak Üniversitesi,
yahya.nas@sirnak.edu.tr - 0000-0002-6917-8697

ÖZET

Ultraviyole (UV) ışık uygulamaları, özellikle örtü altı ve kontrollü ortam yetiştiriciliğinde sebzelerin büyüme, fizyolojik performans ve fitokimyasal kalite özelliklerinin düzenlenmesinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bitkilerin UV ışınımına verdiği yanıtlar UV-A, UV-B ve UV-C arasında farklılık göstermekte; bu etkiler dalga boyu, ışınım şiddeti, kümülatif doz, uygulama süresi ve zamanı, gelişme dönemi, tür ve genotipe bağlı olarak değişmektedir. Uygun dozlarda uygulanan UV-A, fotosentetik süreçleri, pigment birikimini, mineral kompozisyonunu ve metabolik süreçleri etkileyerek bitkilerin besinsel ve fitokimyasal özelliklerinde değişikliklere neden olabilmektedir. UV-B uygulamaları ise uygun doz ve gelişme dönemlerinde fenolik bileşikler, flavonoidler, antosiyaninler, karotenoidler ve askorbik asit gibi biyoaktif bileşiklerin birikimini teşvik ederek antioksidan kapasitenin artırılmasına katkı sağlayabilmektedir. Buna karşılık, uygun şekilde yönetilmeyen UV-C uygulamaları fotosentetik etkinliği azaltabilmekte, biyokütle birikimini sınırlandırabilmekte ve istenmeyen morfolojik değişimlere yol açabilmektedir. UV uygulamalarının verim ve ürün kalitesi üzerindeki etkileri de tür, genotip ve uygulama koşullarına göre değişmekte; fitokimyasal bileşiklerdeki artışlar her zaman büyüme ve verimde iyileşmeyle sonuçlanmamaktadır. Sera, kontrollü ortam ve dikey tarım sistemleri, UV uygulamalarının hassas biçimde yönetilmesi açısından önemli olanaklar sunmaktadır. Bu derlemede, UV uygulamalarının sebzelerde büyüme, fotosentetik performans, verim, pigment metabolizması, antioksidan kapasite ve fitokimyasal bileşim üzerindeki etkileri güncel çalışmalar doğrultusunda değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, türe ve yetiştirme sistemine özgü UV uygulama protokollerinin geliştirilmesi, sebzelerin besinsel ve fonksiyonel kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ultraviyole ışık, UV-A, UV-B, UV-C, sebzeler, fitokimyasal kalite,

EFFECTS OF ULTRAVIOLET LIGHT APPLICATIONS ON GROWTH, PHYSIOLOGICAL PERFORMANCE, AND PHYTOCHEMICAL QUALITY OF VEGETABLES

ABSTRACT

Ultraviolet (UV) light applications are receiving increasing attention for their potential to regulate growth, physiological performance, and phytochemical quality in vegetables, particularly under protected and controlled-environment production systems. Plant responses to UV radiation differ among UV-A, UV-B, and UV-C and are influenced by wavelength, irradiance, cumulative dose, exposure duration and timing, developmental stage, species, and genotype. When applied at appropriate doses, UV-A can influence photosynthetic processes, pigment accumulation, mineral composition, and metabolic pathways, thereby modifying the nutritional and phytochemical characteristics of plants. Similarly, UV-B applied at suitable doses and developmental stages can promote the accumulation of bioactive compounds, including phenolics, flavonoids, anthocyanins, carotenoids, and ascorbic acid, thereby contributing to enhanced antioxidant capacity. In contrast, inadequately managed UV-C exposure may impair photosynthetic performance, restrict biomass accumulation, and induce undesirable morphological changes. The effects of UV treatments on yield and product quality also vary according to species, genotype, and application conditions, and increases in phytochemical compounds do not necessarily coincide with improvements in plant growth or yield. Greenhouse, controlled-environment, and vertical farming systems provide important opportunities for the precise management of UV treatments. This review evaluates recent findings on the effects of UV applications on vegetable growth, photosynthetic performance, yield, pigment metabolism, antioxidant capacity, and phytochemical composition. Overall, the development of crop- and production-system-specific UV protocols has considerable potential for improving the nutritional and functional quality of vegetables.

Keywords: Ultraviolet light, UV-A, UV-B, UV-C, vegetables, phytochemical quality,

1. GİRİŞ

Işık, yalnızca fotosentezin gerçekleşmesini sağlayan temel enerji kaynağı değil, aynı zamanda bitkilerde büyüme, morfoloji, gelişme, metabolizma ve ürün kalitesini düzenleyen önemli bir çevresel sinyaldir. Örtü altı ve kontrollü ortam yetiştiriciliğinde yapay aydınlatma teknolojilerindeki gelişmeler, bitkilerin maruz kaldığı ışık spektrumunun giderek daha hassas biçimde yönetilmesine olanak sağlamıştır. Bu sistemlerde ışık kalitesi ve ışınım koşullarının kontrollü biçimde düzenlenmesi, bitki büyümesi ve ürün kalitesinin yönlendirilmesi açısından önemli bir araç haline gelmiştir (Laužikė ve ark., 2023). Farklı spektral bölgeler arasında ultraviyole (UV) ışınım, nispeten düşük ek dozlarda dahi sebze türlerinin besinsel ve fonksiyonel kalitesini değiştirebilecek fizyolojik ve metabolik tepkileri uyarabilmesi nedeniyle son yıllarda önemli ölçüde dikkat çekmektedir (Zha ve ark., 2024). UV ışınımı genel olarak UV-A, UV-B ve UV-C olmak üzere üç temel spektral bölgeye ayrılmaktadır. Bu bölgeler dalga boyu, foton enerjisi, penetrasyon kapasitesi, bitki fotoreseptörleriyle etkileşimleri ve biyolojik

etkileri bakımından önemli farklılıklar göstermektedir. Özellikle UV-B, bitkilerde fotomorfogenez, hormon sinyallemesi ve çevresel koşullara aklimasyonla ilişkili çeşitli düzenleyici mekanizmaları etkileyebilmektedir (Dai ve ark., 2024). Aşırı UV maruziyeti oksidatif strese, hücresel yapılarda hasara, fotosentezin baskılanmasına ve bitki büyümesinin sınırlandırılmasına neden olabilirken, uygun şekilde kontrol edilen UV uygulamaları koruyucu mekanizmaları ve sekonder metabolizmayı uyaran düzenleyici sinyaller veya hafif stres faktörleri olarak işlev görebilmektedir (Skowron ve ark., 2024). Bu ayrım, bahçe bitkilerindeki uygulamalar açısından özellikle önemlidir. Ek UV uygulamalarının temel amacı bitkileri zarar verici düzeyde ışınıma maruz bırakmak değil; büyüme, pazarlanabilir verim veya ticari kaliteyi olumsuz etkilemeden istenen fizyolojik ve biyokimyasal tepkileri uyarabilecek hormetik veya düzenleyici dozların belirlenmesidir. Nitekim UV-B uygulamalarına verilen yanıtların ışınım şiddeti, uygulama süresi ve bitkinin gelişme dönemine bağlı olarak olumlu veya olumsuz yönde değişebildiği bildirilmektedir (Onur ve ark., 2025). Son yıllardaki deneysel bulgular, kontrollü UV uygulamalarının fotosentetik performans, pigment metabolizması, antioksidan sistemler ve sekonder metabolit birikimini etkileyebildiğini göstermektedir. Zha ve ark. (2024), marulda ek UV-A ışınımının primer ve sekonder metabolizma arasındaki ilişkileri önemli ölçüde değiştirdiğini ve özellikle fenilpropanoidler ile bazı terpenoidlerin biyosentezini etkilediğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde, kısa süreli hasat öncesi UV-B uygulamasının marulda fotosentetik aktiviteyi önemli ölçüde olumsuz etkilemeden toplam fenolikler, flavonoidler, antosiyaninler, karotenoidler ve askorbik asit düzeylerini artırabildiği bildirilmiştir. Buna karşılık UV-C uygulamasının fotosentetik sistemi daha belirgin biçimde olumsuz etkileyebildiği, bitki büyümesini sınırlandırabildiği ve yapraklarda istenmeyen morfolojik değişikliklere yol açabildiği gösterilmiştir (Skowron ve ark., 2024). Bu nedenle UV takviyesi yalnızca bir abiyotik stres uygulaması olarak değil, aynı zamanda potansiyel bir hassas üretim stratejisi olarak değerlendirilmelidir. UV dalga boyu, ışınım şiddeti, uygulama süresi, kümülatif doz, gelişme dönemi ve uygulama zamanının optimize edilmesi, modern üretim sistemlerinde yetiştirilen sebzelerin besinsel ve fonksiyonel kalitesinin artırılması açısından etkili bir yaklaşım oluşturabilir (Laužikė ve ark., 2023; Zha ve ark., 2024).

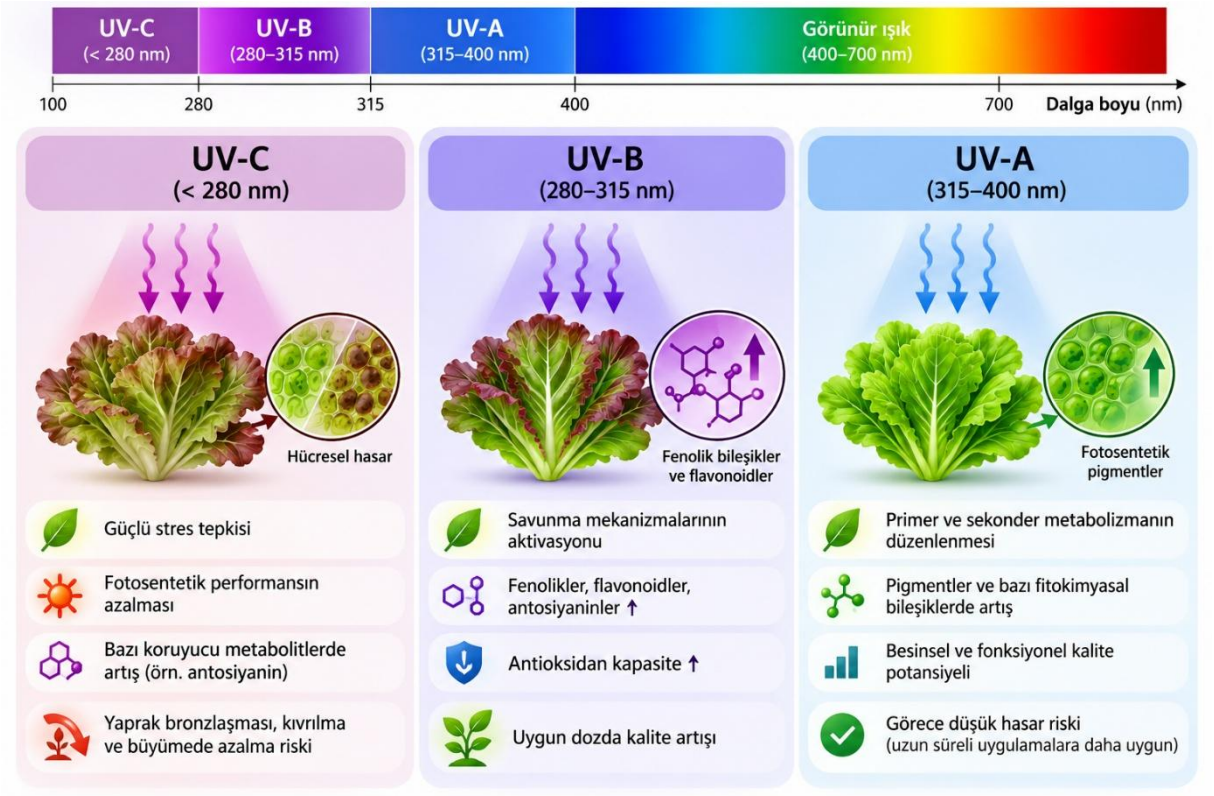
2. BİTKİSEL ÜRETİMDE ULTRAVİYOLE IŞIĞIN ÖNEMİ

Doğal güneş ışınımı UV dalga boylarını içermektedir. Bununla birlikte, sera örtü materyallerinin optik ve radyometrik özellikleri, bitki kanopisine ulaşan UV ışınımının miktarını ve spektral dağılımını önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Özellikle UV bloke edici veya seçici geçirgenliğe sahip örtü materyalleri, sera içerisindeki UV ortamının açık tarla koşullarından belirgin biçimde farklılaşmasına neden olabilmektedir (Katsoulas ve ark., 2020; G. Pandey ve ark., 2023). Bu nedenle örtü altında veya tamamen kapalı üretim sistemlerinde yetiştirilen bitkiler, doğal koşullarda yetiştirilen bitkilerden farklı bir ışık ortamına maruz kalabilmektedir. UV ışınımındaki değişiklikler bitki büyümesi, yaprak morfolojisi, pigment oluşumu, fotosentetik süreçler, antioksidan savunma ve sekonder metabolit birikimi üzerinde etkili olabilmektedir (Katsoulas ve ark., 2020; G. Pandey ve ark., 2023). Özellikle UV-B ışınımı, fenilpropanoid metabolizmasını ve flavonoid, antosiyanin ve diğer UV-absorbe eden sekonder metabolitlerin birikimini düzenleyebilen önemli bir çevresel sinyal olarak değerlendirilmektedir (A. Pandey ve ark., 2023). Bu nedenle UV ışınımının kontrollü olarak uygulanması, UV aracılı fizyolojik ve metabolik tepkilerin bilinçli biçimde yönlendirilmesine

olanak sağlayabilir. Bu yaklaşım, özellikle yenilebilir yaprakları doğrudan yapay ışığa maruz kalan ve fitokimyasal kompozisyonları besinsel ve ticari kalitenin önemli bir bileşenini oluşturan yapraklı sebzeler ve aromatik bitkiler açısından önem taşımaktadır. Nitekim marul, hardal ve kale gibi yapraklı sebzelerde UV-A uygulamalarının büyüme, antioksidan aktivite, şeker içeriği ve α-tokoferol, karotenler ve çeşitli fenolik bileşikler gibi fitokimyasallar üzerinde tür ve genotipe bağlı değişikliklere neden olabildiği bildirilmiştir (Laužikė ve ark., 2023). Kontrollü ortam tarımı ayrıca dalga boyu, ışınım şiddeti, fotoperiyot, uygulama süresi ve uygulama zamanının açık tarla koşullarına göre daha hassas biçimde yönetilebilmesine olanak sağlamaktadır (Zhao ve ark., 2024). Başlıca UV bölgeleri arasında UV-A, daha kısa dalga boylu UV ışınımlarına kıyasla daha düşük foton enerjisine sahip olup kontrollü koşullarda nispeten uzun süreli uygulamalarda kullanılabilmektedir. UV-B ise daha güçlü sinyal ve stres tepkileri oluşturabilmekte ve özellikle fenilpropanoid metabolizması ile koruyucu sekonder metabolitlerin birikimini uyarabilmektedir (A. Pandey ve ark., 2023). Bununla birlikte UV-B'nin etkileri uygulanan doza bağlı olduğundan, düşük veya uygun dozlarda düzenleyici ve fotokoruyucu tepkiler ortaya çıkabilirken yüksek dozlarda oksidatif stres ve büyüme kayıpları meydana gelebilmektedir. UV-C ise daha kısa dalga boyu ve daha yüksek foton enerjisi nedeniyle özellikle aşırı dozlarda daha güçlü stres ve hücresel hasar oluşturma potansiyeline sahiptir. Dolayısıyla UV uygulamalarının potansiyel yararları yalnızca UV ışınımının varlığına veya yokluğuna bağlı değildir. Bitki yanıtı; UV bölgesi ve spesifik dalga boyu, ışınım şiddeti, kümülatif doz, maruz kalma süresi ve zamanı, gelişme dönemi, tür, genotip ve yetiştirme koşullarının etkileşimi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle kontrollü üretim sistemlerinde UV uygulamalarının bitki türü ve hedeflenen kalite özelliğine göre optimize edilmesi gerekmektedir (Laužikė ve ark., 2023; Zhao ve ark., 2024).

3. UV-A, UV-B VE UV-C IŞINLARININ ÖZELLİKLERİ VE BİTKİLER TARAFINDAN ALGILANMASI

UV-A, UV-B ve UV-C ışınımları; dalga boyları, foton enerjileri ve bitkilerde oluşturdukları fizyolojik ve biyokimyasal tepkiler bakımından birbirinden önemli ölçüde farklılık göstermektedir. UV-A daha çok metabolik ve fotomorfogenik düzenlemelerle ilişkilendirilirken, UV-B uygun dozlarda savunma mekanizmaları ile fenolik ve diğer fotokoruyucu bileşiklerin birikimini güçlü biçimde uyarabilmektedir. UV-C ise düşük dozlarda bazı koruyucu yanıtları teşvik edebilmesine rağmen, yüksek enerjisi nedeniyle aşırı uygulamalarda fotosentetik bozulma ve hücresel hasar oluşturma açısından daha yüksek risk taşımaktadır. UV-A, UV-B ve UV-C'nin temel spektral özellikleri ve sebzelerde oluşturdukları başlıca tepkiler Görsel 1'de karşılaştırmalı olarak özetlenmiştir.



Görsel 1. UV-A, UV-B ve UV-C ışınımlarının dalga boyları ve sebzelerde oluşturdukları başlıca fizyolojik, biyokimyasal ve fitokimyasal tepkilerin şematik karşılaştırılması. UV-A (315–400 nm) daha çok primer ve sekonder metabolizmanın düzenlenmesi ile ilişkilendirilirken, UV-B (280–315 nm) uygun dozlarda savunma mekanizmalarını aktive ederek fenolik bileşikler, flavonoidler, antosiyaninler ve antioksidan kapasitenin artırılmasına katkı sağlayabilir. UV-C (<280 nm) düşük dozlarda bazı koruyucu metabolitleri uyarabilmekle birlikte, yüksek dozlarda fotosentetik performansın azalması, hücresel hasar ve morfolojik bozukluk riskini artırabilir. Bitki yanıtları uygulama dozu, süresi, tür ve genotipe bağlı olarak değişmektedir.

3.1. UV-A

UV-A ışınımı genel olarak yaklaşık 315–400 nm dalga boyu aralığını kapsamaktadır ve güneş ışınımının yeryüzüne ulaşan UV bileşeninin büyük bölümünü oluşturmaktadır (Rai ve ark., 2021). UV-A'nın bitkiler tarafından algılanması dalga boyuna bağlı olarak farklı fotoreseptör sistemleriyle ilişkilidir. Özellikle kısa dalga boylu UV-A'nın UVR8, daha uzun dalga boylu UV-A'nın ise başta kriptokromlar olmak üzere mavi ışık fotoreseptörleri aracılığıyla algılanabildiği bildirilmektedir (Rai ve ark., 2021). Bu nedenle UV-A ile mavi ışık sinyal mekanizmaları arasında işlevsel bir örtüşme bulunmaktadır. UV-B ve UV-C ile karşılaştırıldığında UV-A daha düşük foton enerjisine sahip olmakla birlikte, bitki üzerindeki etkileri uygulanan dalga boyu, ışınım şiddeti ve çevresel koşullara bağlı olarak hem teşvik edici hem de baskılayıcı olabilmektedir (Verdaguer ve ark., 2017). Ek UV-A uygulamaları hem primer hem de sekonder bitki metabolizmasını değiştirebilmektedir. Marulda Zha ve ark. (2024), UV-A takviyesinin metabolik yolaklarda önemli bir yeniden yapılanmaya neden olduğunu göstermiştir. Multi-omik analizler, UV-A uygulamasının primer metabolizma ile sekonder metabolizma arasındaki ilişkileri değiştirdiğini ve fenilpropanoidler ile plastid kökenli bazı sekonder metabolitlerin birikimini etkilediğini ortaya koymuştur (Zha ve ark., 2024). Bu bulgular UV-A'nın yalnızca “antioksidanları artıran” bir uygulama olarak değerlendirilmemesi

gerektiğini göstermektedir. UV-A, karbon ve metabolik öncüllerin farklı biyosentetik yolaklar arasındaki dağılımını değiştirebilmekte ve bunun sonucunda bireysel sekonder metabolitlerin tepkileri birbirinden farklı olabilmektedir (Zha ve ark., 2024). Nitekim UV-A'nın flavonoidler ve diğer fenolik bileşikler üzerindeki etkilerinin bileşiğe ve bitki türüne özgü olabileceği daha önce de bildirilmiştir (Verdaguer ve ark., 2017). UV-A'ya verilen biyolojik yanıt; spesifik dalga boyu, ışınım şiddeti, uygulama süresi, arka plan fotosentetik foton akı yoğunluğu, bitki türü ve genotip tarafından önemli ölçüde etkilenmektedir. Sun ve ark. (2024), bitkilerin UV-A1 ışınımına verdiği büyüme ve fizyolojik yanıtların genotipe ve arka plan ışınım koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişebildiğini göstermiştir. Dolayısıyla yalnızca geniş UV-A spektral sınıflandırmasının kullanılması bitki tepkilerini öngörmek için yeterli değildir; spesifik dalga boyu, doz ve yetiştirme koşullarının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Rai ve ark., 2021; Sun ve ark., 2024).

3.2. UV-B

UV-B ışınımı genel olarak yaklaşık 280–315 nm dalga boyu aralığını kapsamaktadır ve bitkiler açısından önemli bir çevresel sinyal olmasının yanı sıra, yüksek dozlarda abiyotik stres faktörü olarak da işlev görebilmektedir (Shi ve Liu, 2021; Chen ve ark., 2022). Bitkiler UV-B ışınımını başlıca UV RESISTANCE LOCUS 8 (UVR8) fotoreseptörü aracılığıyla algılamaktadır. UVR8'in aktivasyonu, COP1 ve HY5 gibi temel sinyal bileşenlerini içeren düzenleyici mekanizmaları harekete geçirerek gen ekspresyonu, fotomorfogenez, büyüme, antioksidan savunma ve sekonder metabolizmayla ilişkili çeşitli süreçleri düzenlemektedir (Podolec ve ark., 2021; Chen ve ark., 2022). UV-B'nin önemli etkilerinden biri, fenilpropanoid metabolizmasını ve özellikle flavonoidler, antosiyaninler ve diğer fenolik bileşikler gibi fotokoruyucu sekonder metabolitlerin sentezini uyarmasıdır (Singh ve ark., 2023). Bu bileşikler UV-B ışınımının absorbe edilmesine katkıda bulunarak hücresel yapıların korunmasına yardımcı olmakta ve aynı zamanda reaktif oksijen türlerinin uzaklaştırılmasında görev alabilmektedir. Dolayısıyla UV-B ile uyarılan fenolik metabolizma yalnızca bitkinin ışınım stresine karşı savunması açısından değil, yenilebilir bitki dokularının fitokimyasal ve fonksiyonel kalitesinin geliştirilmesi bakımından da önem taşımaktadır (Singh ve ark., 2023). UV-B'nin etkisi büyük ölçüde uygulanan doza ve maruz kalma süresine bağlıdır. Düşük veya uygun düzeylerde UV-B, fotomorfogenik ve koruyucu tepkileri aktive edebilirken, yüksek ışınım düzeyleri reaktif oksijen türlerinin aşırı oluşumuna, DNA ve hücresel bileşenlerde hasara, fotosentetik performansın azalmasına ve büyümenin baskılanmasına neden olabilmektedir (Shi ve Liu, 2021; Chen ve ark., 2022). Bu nedenle UV-B uygulamalarında yararlı düzenleyici yanıt ile zararlı stres etkisi arasındaki dengenin dikkate alınması gerekmektedir. Kontrollü koşullarda gerçekleştirilen kısa süreli hasat öncesi UV-B uygulamaları, sebzelerin fitokimyasal kalitesinin artırılması açısından önemli bir potansiyel göstermektedir. Nitekim Skowron ve ark. (2024), marul çeşitlerinde kısa süreli hasat öncesi UV-B uygulamasının fotosentetik aktiviteyi olumsuz etkilemeden toplam fenolik, flavonoid, antosiyanin, karotenoid ve askorbik asit düzeylerini artırarak genel antioksidan potansiyeli geliştirdiğini bildirmiştir. Buna karşılık aynı çalışmada UV-C uygulamasının fotosentetik sistem ve bitki büyümesi üzerinde daha belirgin olumsuz etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte UV-B dozunun bitkinin tolerans sınırlarını aşması, yararlı sinyal ve aklimasyon tepkilerinden oksidatif stres ve hücresel hasara doğru bir geçişe neden olabilir (Shi ve Liu, 2021; Chen ve ark., 2022). Ayrıca UV-B'ye verilen yanıt;

ışınım şiddeti ve uygulama süresinin yanı sıra bitki türü, genotip, gelişme dönemi ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle UV-B'nin sebze üretiminde bir kalite geliştirme aracı olarak kullanılabilmesi için dalga boyu, ışınım şiddeti, kümülatif doz ve uygulama zamanının bitki türü ve çeşidine özgü olarak optimize edilmesi gerekmektedir (Skowron ve ark., 2024).

3.3. UV-C

UV-C ışınımı genel olarak 100–280 nm dalga boyu aralığını kapsamaktadır. Güneş kaynaklı UV-C ışınımı ve yaklaşık 290 nm'nin altındaki UV-B ışınımı atmosfer tarafından büyük ölçüde absorbe edildiğinden, UV-C doğal koşullarda yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının önemli bir bileşeni değildir (Rai ve ark., 2021). Dolayısıyla bitkiler doğal üretim koşullarında önemli miktarda UV-C ışınımına maruz kalmamaktadır. Yapay UV-C uygulamalarının bitkiler üzerindeki etkileri büyük ölçüde uygulanan doza, ışınım şiddetine, maruz kalma süresine, bitki türüne ve gelişme dönemine bağlıdır. Uygun ve düşük dozlarda UV-C, hafif bir stres faktörü veya abiyotik elisitör olarak işlev görerek bitki savunma mekanizmalarını aktive edebilmekte; fenilpropanoid/flavonoid metabolizması, antioksidan enzimler ve bazı koruyucu sekonder metabolitlerin sentezini teşvik edebilmektedir (Nigro ve Ippolito, 2016; Zhao ve ark., 2024). Buna karşılık aşırı UV-C maruziyeti oksidatif stresin artmasına, hücresel yapıların zarar görmesine, fotosentetik süreçlerin bozulmasına ve büyümenin baskılanmasına neden olabilmektedir (Skowron ve ark., 2024). Marulda gerçekleştirilen güncel bir çalışmada, UV-C uygulamasının bazı çeşitlerde antosiyanin birikimini artırabildiği, ancak UV-B'ye kıyasla fotosentetik performans üzerinde daha belirgin olumsuz etkiler oluşturduğu gösterilmiştir. Ayrıca yüksek UV-C maruziyetinin yapraklarda bronzlaşma, kıvrılma ve diğer morfolojik bozukluklarla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Skowron ve ark ., 2024). Bu sonuçlar, UV-C'nin fitokimyasal kaliteyi artırma potansiyelinin, fotosentetik performans ve bitki büyümesindeki olası kayıplarla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. UV-C'nin sebzelerde kalite düzenleme amacıyla kullanımında belirgin bir doz-tepki ilişkisi bulunmaktadır. Düşük veya orta düzeyde uygulamalar savunma sistemlerini ve bazı biyoaktif bileşiklerin birikimini teşvik edebilirken, yüksek dozlar oksidatif hasara ve ürün kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir (Sonntag ve ark., 2023). Bu nedenle UV-C'nin hasat öncesi veya hasat sonrası sebze kalitesinin düzenlenmesinde kullanılması durumunda dalga boyu, ışınım şiddeti, kümülatif doz ve uygulama süresinin bitki türü ve çeşidine özgü olarak dikkatli biçimde optimize edilmesi gerekmektedir.

4. UV UYGULAMA DOZU, SÜRESİ VE UYGULAMA ZAMANININ ÖNEMİ

Güncel UV araştırmalarından ortaya çıkan en önemli ilkelerden biri, bitkilerin verdiği yanıtların yalnızca dalga boyuna göre açıklanamayacağıdır. Işınım şiddeti, uygulama süresi, kümülatif doz, uygulama sıklığı, gelişme dönemi ve uygulama zamanı nihai biyolojik tepkinin oluşumunda birlikte rol oynamaktadır (Laužikė ve ark., 2023; Zhao ve ark., 2024). Aynı UV dalga boyu orta düzeyde uygulandığında sekonder metabolizmayı teşvik edebilirken, bitkinin fizyolojik tolerans sınırlarının üzerindeki uygulamalarda biyokütle birikimini azaltabilir veya fotosistem II'ye zarar verebilir. Örneğin tatlı fesleğen üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, nispeten düşük şiddetteki UV-A uygulamalarının biyokütle üretimi ve fenolik bileşik birikimini artırabildiğini, buna karşılık daha yüksek UV-A şiddetlerinin bitki büyümesini

sınırlandırabildiğini göstermiştir. Bu durum, ışınım şiddetinin artırılmasının her zaman daha güçlü ve yararlı bir yanıt oluşturmadığını ortaya koymaktadır. Uygulama süresi de aynı derecede önemlidir. Uzun süre uygulanan nispeten düşük ışınım şiddeti, kısa süre uygulanan yüksek ışınım şiddetine benzer bir kümülatif doz oluşturabilir; ancak bitkilerin bu iki uygulamaya verdiği tepkiler önemli ölçüde farklı olabilir (Sun ve ark., 2024). Bitkinin gelişme dönemi de UV hassasiyetini etkilemektedir. Fide döneminde gerçekleştirilen uygulamalar, hasattan kısa süre önce uygulanan aynı UV işlemlerinden farklı sonuçlar oluşturabilir. Hasat öncesi UV uygulamaları, biyokütle üretimi üzerindeki uzun süreli olumsuz etkileri sınırlandırırken arzu edilen fitokimyasal bileşiklerin birikimini teşvik edebilmesi nedeniyle özellikle dikkat çekmektedir (Onur ve ark., 2025; Zhao ve ark., 2024). Dolayısıyla optimum bir UV uygulaması; dalga boyu, ışınım şiddeti, uygulama süresi, kümülatif doz, uygulama zamanı, bitkinin gelişme dönemi, tür ve çeşit birlikte dikkate alınarak tanımlanmalıdır (Zhao ve ark., 2024).

5. UV IŞIĞININ SEBZELERDE BÜYÜME VE BİYOKÜTLE ÜZERİNE ETKİLERİ

UV ışınımının sebzelerde büyüme üzerine etkileri büyük ölçüde doza bağlıdır. Düşük veya orta düzeyde UV-A uygulamaları biyokütle birikimi üzerinde nötr veya bazı durumlarda teşvik edici etkiler oluşturabilirken, aşırı UV-A ile daha güçlü UV-B veya UV-C uygulamaları yaprak genişlemesini, sürgün gelişimini ve kuru madde birikimini azaltabilir. Laužikė ve ark. (2023), ek UV-A uygulamalarının etkilerinin marul, hardal ve kale arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, büyüme tepkilerinin tüm yapraklı sebze türleri için genellenemeyeceğini göstermektedir. Genotip de önemli bir varyasyon kaynağıdır. Aynı türe ait çeşitler dahi yaprak pigmentasyonu, antioksidan kapasitesi, UV filtreleyici bileşiklerin miktarı ve fotosentetik aklimasyon açısından farklılık gösterebilir ve bunun sonucunda aynı UV uygulamasına farklı büyüme tepkileri verebilir. Fesleğen üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar da spesifik dalga boyunun önemini göstermektedir. Ek UV-A/mor ışık dalga boyları, yeşil ve mor fesleğen genotiplerinde biyokütle üretimi ve nutrasötik özellikleri farklı biçimde etkileyebilmektedir. Orta düzeyde UV uygulamaları morfolojik aklimasyonu da teşvik edebilir. Yaprak kalınlığı, yaprak alanı, pigmentasyon ve biyokütle dağılımındaki değişiklikler bitkilerin ışınım stresine toleransını artırabilir. Bununla birlikte maruziyet bitkinin aklimasyon kapasitesini aştığında, bu adaptif tepkilere büyümenin baskılanması eşlik edebilir. UV ışınımının biyokütle üzerindeki etkileri; ışınım dozu, gelişme dönemi, tür, genotip ve fitokimyasal tepkilerle birlikte değerlendirilmelidir. Sekonder metabolit konsantrasyonundaki artışa önemli bir biyokütle kaybının eşlik etmesi, ticari üretim açısından istenen bir sonuç olmayabilir.

6. FOTOSENTEZ, KLOROFİL VE FİZYOLOJİK PERFORMANS ÜZERİNE ETKİLERİ

Fotosentetik performans, UV ışınımından etkilenen en önemli fizyolojik süreçlerden biridir. UV uygulamaları dalga boyu ve doza bağlı olarak klorofil konsantrasyonu, karotenoid birikimi, stomatal davranış, gaz değişimi, klorofil floresansı, fotokimyasal etkinlik ve karbon metabolizmasını değiştirebilmektedir. Orta düzeyde UV-A takviyesi pigment kompozisyonunu değiştirirken fotosentetik işlevselliği koruyabilir veya bazı koşullarda destekleyebilir. Lee ve ark. (2022), kısa süreli hasat öncesi UV-A uygulamasının marulda klorofil ve karotenoid

konsantrasyonlarını artırdığını; ancak yanıtın büyüklüğü ve zamanlamasının kırmızı ve yeşil yapraklı çeşitler arasında farklılık gösterdiğini bildirmiştir. UV ışınımının etkileri yalnızca pigment birikimiyle sınırlı değildir. Multi-omik bulgular, ek UV-A'nın Calvin–Benson döngüsü, fotorespirasyon, pentoz fosfat metabolizması, taşıma süreçleri ve hücresel enerji dengesini etkileyebildiğini göstermektedir. Bu metabolik değişimler, UV aracılı ürün kalitesi artışının primer karbon ve enerji metabolizmasıyla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Karotenoidler hem besinsel kaliteye hem de fotokorunmaya katkıda bulunmaları nedeniyle özel bir öneme sahiptir. Fazla uyarılma enerjisinin dağıtılmasına ve antioksidan savunmaya katılarak UV maruziyeti altında fotosentetik dokuların korunmasına yardımcı olabilirler. Bununla birlikte aşırı UV uygulaması fotosistem II'nin işleyişini bozabilir, oksidatif baskıyı artırabilir ve fotokimyasal etkinliği azaltabilir. UV-C, daha yüksek foton enerjisi nedeniyle fotosentetik dokularda daha güçlü bozulmalara neden olma riski taşımaktadır. Dolayısıyla optimum UV uygulamalarının belirlenmesinde klorofil floresansı, pigment konsantrasyonları, gaz değişimi ve biyokütle birikimi gibi fizyolojik göstergelerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

7. VERİM VE ÜRÜN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

UV ışınımına verilen verim tepkileri genellikle fitokimyasal tepkilerden daha değişkendir. Sekonder metabolitlerde meydana gelen artış her zaman biyokütle veya pazarlanabilir verimde artış anlamına gelmemektedir. Onur ve ark. (2025), fide döneminde uygulanan UV-B ışınımının marulun daha sonraki büyüme, kalite ve verim özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu tür çalışmalar, belirli bir gelişme dönemindeki UV uygulamasının üretim döngüsünün ilerleyen aşamalarında bitki performansı üzerinde kalıcı etkiler oluşturabileceğini göstermesi bakımından önemlidir. UV uygulamasının zamanı, ortaya çıkan tepkinin ağırlıklı olarak morfolojik, fizyolojik veya biyokimyasal olmasını belirleyebilir. Erken vejetatif dönemde gerçekleştirilen uygulamalar bitki mimarisi ve biyokütle oluşumunu etkileyebilirken, kısa süreli hasat öncesi uygulamalar ürün kompozisyonunun düzenlenmesi açısından daha uygun olabilir. Meyvesi tüketilen sebzelerde UV uygulamaları meyve kalite özelliklerini de etkileyebilmektedir. Sera domatesinde yapılan çalışmalar, ek UV-B'nin tek başına veya diğer spektral bileşenlerle birlikte uygun şekilde uygulandığında verimi mutlaka azaltmadan askorbik asit, hidroksisinnamik asitler ve kaliteyle ilişkili diğer bileşikler üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Ek UV ışınımı, aroma ve duyusal özelliklerle ilişkili uçucu organik bileşiklerin kompozisyonunu da değiştirebilir. Bu durum UV yönetiminin yalnızca besinsel kompozisyon açısından değil, tüketicinin algıladığı ürün kalitesi bakımından da önemli olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda yalnızca sekonder metabolit birikimine odaklanmak yerine pazarlanabilir verim, besinsel kalite, fitokimyasal kompozisyon, görünüm, tat, aroma ve diğer duyusal özelliklerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

8. FENOLİK BİLEŞİKLER, FLAVONOİDLER VE ANTOSİYANİNLER ÜZERİNE ETKİLERİ

Fenolik metabolizma, UV ışınımına en güçlü tepki veren biyokimyasal sistemlerden biridir. Birçok fenolik bileşik antioksidan ve UV filtreleyici molekül olarak görev yapmakta ve böylece bitkinin ışınım kaynaklı strese karşı korunmasına katkıda bulunmaktadır. UV-B özellikle fenilpropanoid metabolizmasının uyarılmasında etkilidir. Marulda kontrollü UV-B uygulamalarının toplam fenolikler, flavonoidler ve antosiyaninlerin miktarını artırabildiği

bildirilmiştir. Bu artışlar antioksidan kapasiteyi güçlendirebilir ve yenilebilir dokuların fonksiyonel değerini artırabilir. UV-A da fenolik metabolizmayı önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Zha ve ark. (2024), metabolomik ve transkriptomik analizlerle ek UV-A uygulamasının primer metabolizma ve öncül maddelerin dağılımındaki değişiklikler aracılığıyla çok sayıda fenilpropanoid kökenli metabolitin üretimini değiştirdiğini göstermiştir. Bununla birlikte bireysel bileşiklerin tepkileri aynı değildir. Fesleğende gerçekleştirilen araştırmalar, farklı UV-A dalga boylarının rosmarinik asit, şikorik asit ve diğer fenolik bileşikler üzerinde farklı etkiler oluşturabildiğini göstermiştir. Ayrıca yanıtlar yeşil ve mor genotipler arasında önemli ölçüde değişebilmektedir. Bu durum deneysel sonuçların yorumlanması açısından önemlidir. Toplam fenolik konsantrasyonundaki artış, bütün bireysel fenolik bileşiklerin arttığı anlamına gelmemektedir. UV ışınımı rekabet halindeki biyosentetik yolaklar arasındaki metabolik akışı değiştirdiğinden bazı metabolitler artarken diğerleri azalabilir. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda toplam fenolik madde ölçümlerinin hedefli veya hedeflenmemiş metabolomik analizlerle desteklenmesi, UV kaynaklı fitokimyasal kalite değişimlerinden hangi spesifik bileşiklerin sorumlu olduğunun belirlenmesi açısından önemlidir.

9. KAROTENOİDLER, ASKORBİK ASİT VE ANTİOKSİDAN KAPASİTE ÜZERİNE ETKİLERİ

UV ışınımı hem fenolik hem de fenolik olmayan antioksidan sistemleri değiştirebilmektedir. Karotenoidler ve askorbik asit, bitkilerde fotokorunmaya katkıda bulunmalarının yanı sıra sebzelerin besinsel değerini artırmaları nedeniyle özellikle önem taşımaktadır. Kontrollü UV-B uygulamalarının marulda fenolikler, flavonoidler ve antosiyaninlerle birlikte karotenoid ve askorbik asit konsantrasyonlarını artırabildiği gösterilmiştir. Bu bileşiklerde eş zamanlı meydana gelen değişimler toplam antioksidan kapasitenin artmasına katkıda bulunabilir. Hasat öncesi UV-A uygulaması da karotenoid birikimini etkileyebilmektedir. Lee ve ark. (2022), kısa süreli UV-A uygulamasından sonra klorofil ve karotenoid konsantrasyonlarının arttığını, ancak tepkilerin çeşit ve uygulama süresine bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir. Benzer şekilde fesleğende dalga boyuna özgü UV-A uygulamalarının β-karoten, lutein, zeaksantin ve askorbik asit üzerinde farklı etkiler oluşturduğu bildirilmiştir. Bu sonuçlar, UV uygulamalarının besinsel etkilerinin yalnızca geniş UV kategorilerine göre öngörülemeyeceğini ortaya koymaktadır. Antioksidan kapasite çok sayıda metabolit ve enzimatik sistemin birlikte gösterdiği aktivitenin sonucudur. Dolayısıyla UV uygulamasından sonra antioksidan aktivitede meydana gelen artış; fenolikler, karotenoidler, askorbik asit, tokoferoller veya diğer koruyucu bileşiklerdeki değişimlerden kaynaklanabilir. Bu nedenle UV aracılı besinsel kalite artışının değerlendirilmesinde tek bir biyokimyasal gösterge yerine birden fazla antioksidan parametrenin birlikte incelenmesi daha uygun olacaktır.

10. SEBZELERİN BESİNSEL VE FONKSİYONEL KALİTESİNİN ARTIRILMASINDA UV IŞIĞI

UV ışınımı, besinsel ve fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş sebzelerin üretiminde kullanılabilecek bir araç olarak giderek daha fazla araştırılmaktadır. Günümüzde en güçlü bulgular, yenilebilir dokuları ek ışınıma doğrudan maruz kalan yapraklı sebzeler ve aromatik bitkilerden elde edilmektedir. UV uygulamalarının etkileri yalnızca klasik fitokimyasal

bileşiklerle sınırlı değildir. Örneğin Lee ve ark. (2022), kısa süreli hasat öncesi UV-A uygulamasının yaprak protein konsantrasyonunu yeşil yapraklı marulda yaklaşık %48, kırmızı yapraklı marulda ise %31 artırdığını göstermiştir. Ayrıca bazı temel mineral besin elementlerinin konsantrasyonları da uygulamadan etkilenmiştir. Bu bulgular, UV uygulamalarının fenolikler, pigmentler ve antioksidan bileşiklerin yanı sıra protein ve mineral kompozisyonunu da etkileyebildiğini göstererek UV aracılı besinsel kalite artışı kavramını genişletmektedir. Bununla birlikte farklı besinsel bileşenler arasındaki olası ödünleşimler dikkate alınmalıdır. Belirli besin maddelerini artıran aynı UV-A uygulaması toplam fenolik veya flavonoid konsantrasyonlarını azaltabilir. Bu nedenle tek bir kalite bileşenindeki iyileşme doğrudan genel besinsel kalitenin iyileştiği şeklinde yorumlanmamalıdır. Fonksiyonel kalite kavramı bu nedenle çok boyutlu olarak ele alınmalıdır. Protein, mineraller, vitaminler, karotenoidler, fenolik bileşikler, antioksidan aktivite, duyusal özellikler ve potansiyel olarak istenmeyen bileşikler birlikte değerlendirilmelidir. Bu bütünleşik yaklaşım, özellikle biyofortifikasyon ve fonksiyonel gıda üretimi açısından önemlidir. Çünkü temel amaç yalnızca tek bir bileşiğin miktarını en yüksek düzeye çıkarmak değil, üretkenliği ve tüketici kabulünü olumsuz etkilemeden yenilebilir bitki dokularının genel besinsel değerini geliştirmektir.

11. SERA, KONTROLLÜ ORTAM VE DİKEY TARIM SİSTEMLERİNDE UV UYGULAMALARI

Kontrollü ortam tarımı; dalga boyu, ışınım şiddeti, uygulama süresi, zamanlama ve görünür ışık spektrumlarıyla etkileşimlerin hassas biçimde düzenlenebilmesi nedeniyle UV uygulamalarının optimizasyonu açısından önemli bir teknolojik platform sunmaktadır. Ek aydınlatma sistemlerine sahip seralarda UV ışınımı, örtü materyalleri tarafından filtrelenen spektral bölgelerin desteklenmesinde kullanılabilir. Kapalı tarım ve dikey tarım sistemleri ise bitkilerin tüm üretim döngüsü boyunca özel olarak tasarlanmış ışık reçetelerine maruz bırakılabilmesi nedeniyle daha yüksek düzeyde kontrol sağlamaktadır. UV-A LED'ler, UV-A'nın daha kısa dalga boylu UV ışınımlarına kıyasla genellikle daha düşük düzeyde stres oluşturması nedeniyle nispeten uzun süreli uygulamalara daha uygundur. UV-B ise özellikle temel amacın toplam biyokütleyi önemli ölçüde azaltmadan fitokimyasal birikimi teşvik etmek olduğu hasat öncesi dönemde hedefli ve kısa süreli uygulamalar için daha uygun olabilir. Marul, hardal, kale ve fesleğen üzerinde yapılan çalışmalar UV tepkilerinin tür, çeşit ve dalga boyuna güçlü biçimde bağlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle tek bir UV ışık reçetesinin bütün bitki türlerinde aynı sonucu oluşturması beklenmemelidir. Gelecekteki önemli araştırma alanlarından biri dinamik spektral reçetelerin geliştirilmesidir. Geleneksel kırmızı, mavi ve beyaz ışık öncelikle fotosentezi ve biyokütle üretimini desteklemek amacıyla kullanılabilirken, hedefli UV uygulamaları fitokimyasal kompozisyonu değiştirmek amacıyla belirli gelişme dönemlerinde veya hasattan kısa süre önce uygulanabilir. Bu tür stratejiler UV maruziyetinin bitkilerin en duyarlı olduğu dönemlerle sınırlandırılması sayesinde kaynak kullanım etkinliğini artırabilir. Bununla birlikte ticari uygulamalarda lamba etkinliği, enerji tüketimi, çalışan güvenliği, ekipman maliyeti ve elde edilen kalite artışının ekonomik değeri de dikkate alınmalıdır.

12. UV UYGULAMALARININ SINIRLAMALARI VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

UV uygulamalarının önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen, dikkate alınması gereken çeşitli sınırlamalar bulunmaktadır. İlk olarak, UV tepkileri tür ve çeşide büyük ölçüde özgüdür.

Marulda elde edilen sonuçların domates, biber, hıyar, patlıcan veya diğer sebze türlerine doğrudan aktarılması mümkün değildir. Aynı tür içerisindeki farklı çeşitler dahi UV uygulamalarına farklı tepkiler verebilir (Sun ve ark., 2024). İkinci olarak, UV doz-tepki ilişkileri çoğunlukla doğrusal değildir. Orta düzeyde bir UV dozu koruyucu sekonder metabolizmayı uyarabilirken, daha yüksek doz bitki büyümesini azaltabilir veya fotosentetik işlevlere zarar verebilir. Bu nedenle hormetik doz aralığının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Üçüncü olarak, çalışmalar arasındaki metodolojik farklılıklar sonuçların doğrudan karşılaştırılmasını güçleştirmektedir. UV araştırmalarında spektral dağılım, ışınım şiddeti, kümülatif doz, lamba–bitki mesafesi, kanopi düzeyindeki ışınım, uygulama süresi ve çevresel koşullar her zaman yeterli ayrıntıyla rapor edilmemektedir. Bu parametrelerin standart biçimde bildirilmesi, farklı araştırmaların karşılaştırılabilirliğini önemli ölçüde artıracaktır. Dördüncü olarak, fitokimyasal konsantrasyondaki artış biyokütle üretimindeki azalmayla birlikte ortaya çıkabilir. Yararlı bir bileşiğin konsantrasyonundaki artış kısmen büyümenin azalmasından veya biyokütle dağılımının değişmesinden kaynaklanabilir. Bu nedenle fitokimyasal konsantrasyonlar her zaman pazarlanabilir verim ve bitki ya da birim üretim alanı başına toplam bileşik birikimiyle birlikte değerlendirilmelidir. Beşinci olarak, kontrollü ortam koşullarındaki UV çalışmalarının önemli bir bölümü marul ve aromatik bitkilere odaklanmıştır. Domates, biber, hıyar ve patlıcan gibi ekonomik açıdan önemli meyvesi tüketilen sebzelerde daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Altıncı olarak, UV ışınımının diğer çevresel faktörlerle etkileşimine daha fazla önem verilmelidir. Sıcaklık, CO_2 konsantrasyonu, su durumu, mineral beslenme, tuzluluk, görünür ışık spektrumu ve fotoperiyot, bitkilerin UV uygulamalarına verdiği yanıtları değiştirebilir (Zhao ve ark., 2024). Gelecekteki araştırmalarda bitki fizyolojisinin metabolomik, transkriptomik, proteomik, iyonomik, duyusal değerlendirme, dijital fenotipleme ve moleküler analizlerle bütünleştirilmesi gerekmektedir. Özellikle multi-omik yaklaşımlar, UV kaynaklı kalite değişimlerinin altında yatan metabolik ve düzenleyici mekanizmaların belirlenmesinde önemli katkılar sağlayabilir. Ticari açıdan enerji tüketimi ve ekonomik uygulanabilirlik de değerlendirilmelidir. Fitokimyasal konsantrasyonları önemli ölçüde artıran ancak aşırı enerji gerektiren veya pazarlanabilir biyokütleyi önemli ölçüde azaltan bir UV uygulaması ekonomik açıdan uygun olmayabilir. Son olarak, bitki türüne özgü UV protokollerinin geliştirilmesine daha fazla önem verilmelidir. Bu protokollerde her bitki türü ve üretim amacı için optimum dalga boyu, ışınım şiddeti, kümülatif doz, uygulama süresi, gelişme dönemi ve uygulama zamanı açık biçimde tanımlanmalıdır.

13. SONUÇ

Kontrollü ultraviyole ışınım, sebzelerin büyüme, fizyolojik performans, besinsel kompozisyon ve fonksiyonel kalitesinin düzenlenmesinde önemli potansiyele sahip bir bahçe bitkileri üretim aracı olarak değerlendirilebilir. UV-A, uygun dozlarda uygulandığında bitki büyümesi üzerinde nispeten sınırlı olumsuz etkiler oluştururken primer ve sekonder metabolizmayı değiştirebilir. UV-B, uygun şekilde yönetildiğinde fenolikler, flavonoidler, antosiyaninler, karotenoidler, askorbik asit ve diğer koruyucu metabolitlerin birikimini teşvik eden etkili bir hasat öncesi uyarıcı olarak kullanılabilir. UV-C de bazı savunma tepkilerini ve koruyucu metabolitlerin birikimini uyarabilmekle birlikte fotosentetik bozulma, morfolojik hasar ve kalite kaybı açısından genellikle daha yüksek risk taşımaktadır. Önemli olarak, bütün sebze türleri için geçerli tek bir optimum UV uygulamasından söz etmek mümkün değildir. Bitkilerin UV

ışınımına verdiği yanıt; UV tipi, spesifik dalga boyu, ışınım şiddeti, kümülatif doz, uygulama süresi ve zamanı, gelişme dönemi, bitki türü, genotip ve üretim ortamı arasındaki etkileşim tarafından belirlenmektedir. Ayrıca fitokimyasal bileşiklerin birikimindeki artış her zaman büyüme veya verimde iyileşme anlamına gelmemektedir. Bu nedenle gelecekte geliştirilecek UV yönetim stratejilerinin pazarlanabilir verim, besinsel kalite, fitokimyasal değer, duyusal özellikler ve enerji kullanım etkinliğini birlikte optimize etmeyi hedeflemesi gerekmektedir. Sera üretimi, kapalı ortam yetiştiriciliği ve dikey tarım sistemleri, çevresel ve spektral koşulların hassas biçimde kontrol edilebilmesi nedeniyle bu yaklaşım açısından özellikle umut verici üretim platformlarıdır. Bitki türüne ve gelişme dönemine özgü UV ışık reçetelerinin geliştirilmesi, UV ışınımının hassas bahçe bitkileri yetiştiriciliği ve fonksiyonel gıda üretiminin etkili bir bileşeni haline gelmesine olanak sağlayabilir. Bununla birlikte farklı sebze türleri, çeşitler ve ticari üretim sistemlerinde daha kapsamlı doğrulama çalışmalarına gereksinim bulunmaktadır. Gelecekte fizyolojik ölçümler, multi-omik yaklaşımlar, duyusal analizler, enerji değerlendirmeleri ve ekonomik analizlerin birlikte kullanılması, deneysel koşullarda belirlenen UV tepkilerinin uygulanabilir ve ekonomik açıdan sürdürülebilir üretim protokollerine dönüştürülmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Chen, Z., Dong, Y., Huang, X. Plant responses to UV-B radiation: Signaling, acclimation and stress tolerance, Stress Biology, 2, 1, 51, 2022. DOI: 10.1007/s44154-022-00076-9.

Dai, Y., Li, M., Li, H., Xia, L., Zhang, S. Phytohormone-regulated UV-B photomorphogenesis and acclimation, Environmental and Experimental Botany, 224, 105830, 2024. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2024.105830.

Katsoulas, N., Bari, A., Papaioannou, C. Plant responses to UV blocking greenhouse covering materials: A review, Agronomy, 10, 7, 1021, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10071021.

Laužikė, K., Viršilė, A., Samuolienė, G., Sutulienė, R., Brazaitytė, A. UV-A for tailoring the nutritional value and sensory properties of leafy vegetables, Horticulturae, 9, 5, 551, 2023. DOI: 10.3390/horticulturae9050551.

Lee, M., Kim, J., Oh, M.-M., Lee, J.-H., Rajashekar, C. B. Effects of supplemental UV-A LEDs on the nutritional quality of lettuce: Accumulation of protein and other essential nutrients, Horticulturae, 8, 8, 680, 2022. DOI: 10.3390/horticulturae8080680.

Nigro, F., Ippolito, A. UV-C light to reduce decay and improve quality of stored fruit and vegetables: A short review, Acta Horticulturae, 1144, 289–294, 2016. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1144.43.

Onur, A., Topcu, Y., Polat, E. Friend or foe: Exploring the impact of UV-B irradiation in seedling stage and its subsequent effects on growth, quality and yield of lettuce plants, Folia Horticulturae, 37, 2, 159–173, 2025. DOI: 10.2478/fhort-2025-0012.

Pandey, A., Agrawal, M., Agrawal, S. B. Ultraviolet-B and heavy metal-induced regulation of secondary metabolites in medicinal plants: A review, Metabolites, 13, 3, 341, 2023. DOI: 10.3390/metabo13030341.

Pandey, G., Parks, S., Thomas, R. G. Polymer and photo-selective covers on plant and fruit development: A review, Agronomy Journal, 115, 6, 3074–3091, 2023. DOI: 10.1002/agj2.21442.

Podolec, R., Demarsy, E., Ulm, R. Perception and signaling of ultraviolet-B radiation in plants, Annual Review of Plant Biology, 72, 793–822, 2021. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050718-095946.

Rai, N., Morales, L. O., Aphalo, P. J. Perception of solar UV radiation by plants: Photoreceptors and mechanisms, Plant Physiology, 186, 3, 1382–1396, 2021. DOI: 10.1093/plphys/kiab162.

Shi, C., Liu, H. How plants protect themselves from ultraviolet-B radiation stress, Plant Physiology, 187, 3, 1096–1103, 2021. DOI: 10.1093/plphys/kiab245.

Singh, P., Singh, A., Choudhary, K. K. Revisiting the role of phenylpropanoids in plant defense against UV-B stress, Plant Stress, 7, 100143, 2023. DOI: 10.1016/j.stress.2023.100143.

Skowron, E., Trojak, M., Pacak, I. Effects of UV-B and UV-C spectrum supplementation on the antioxidant properties and photosynthetic activity of lettuce cultivars, International Journal of Molecular Sciences, 25, 17, 9298, 2024. DOI: 10.3390/ijms25179298.

Sonntag, F., Liu, H., Neugart, S. Nutritional and physiological effects of postharvest UV radiation on vegetables: A review, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 71, 26, 9951–9972, 2023. DOI: 10.1021/acs.jafc.3c00481.

Sun, X., Kaiser, E., Aphalo, P. J., Marcelis, L. F. M., Li, T. Plant responses to UV-A1 radiation are genotype and background irradiance dependent, Environmental and Experimental Botany, 219, 105621,

SELENYUM UYGULAMALARININ SEBZELERDE BİYOFORTİFİKASYON, BESİN DEĞERİ VE FONKSİYONEL KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ

Doç. Dr. Yelderem AKHOUNDNEJAD
Şırnak Üniversitesi,
yakhoundnejad@sirnak.edu.tr - 0000-0002-1435-864X

Doç. Dr. Yahya NAS
Şırnak Üniversitesi,
yahya.nas@sirnak.edu.tr - 0000-0002-6917-8697

ÖZET

Selenyum (Se), insan sağlığı açısından temel bir eser element olması ve bitkisel ürünlerin besin değerinin geliştirilmesindeki potansiyeli nedeniyle agronomik biyofortifikasyon çalışmalarında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Sebzelerin yenilebilir organlarında Se konsantrasyonunun kontrollü olarak artırılması, özellikle diyetle Se alımının yetersiz olduğu toplumlarda Se gereksiniminin karşılanmasına katkı sağlayabilecek sürdürülebilir bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bitkilerin çoğu için esansiyel bir element olarak kabul edilmemesine rağmen Se, uygun konsantrasyonlarda bitki metabolizması, mineral beslenme, antioksidan savunma ve sekonder metabolitlerin sentezini etkileyebilmektedir. Sebzelerde Se biyofortifikasyonu; topraktan ve yapraktan uygulamaların yanı sıra hidroponik ve diğer topraksız yetiştirme sistemlerinde besin çözeltisine ilave edilerek gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle *Brassica* ve *Allium* türleri ile yapraklı sebzeler, Se biriktirme kapasiteleri bakımından öne çıkmaktadır. Güncel araştırmalar, uygun Se uygulamalarının yenilebilir dokulardaki Se düzeyini artırabildiğini; fenolik bileşikler, flavonoidler, antioksidan kapasite ve mineral kompozisyon gibi besinsel ve fonksiyonel kalite özelliklerini de etkileyebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu yanıtlar tür ve genotip, Se'nin kimyasal formu, uygulama yöntemi ve dozu ile yetiştirme koşullarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yüksek Se konsantrasyonlarının büyüme ve verim üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmesi, optimum uygulama dozlarının belirlenmesini ve gıda güvenliğinin dikkate alınmasını gerekli kılmaktadır. Bu derlemede, sebzelerde Se'nin alımı ve metabolizması, biyofortifikasyon yöntemleri ile besinsel ve fonksiyonel kalite üzerindeki etkileri güncel çalışmalar doğrultusunda değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, uygun Se uygulama stratejilerinin geliştirilmesi, sebzelerin Se bakımından güvenli biçimde zenginleştirilmesinin yanı sıra besinsel değer ve fonksiyonel kalite özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik umut verici bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Selenyum, biyofortifikasyon, sebzeler, besin değeri, fonksiyonel kalite

EFFECTS OF SELENIUM APPLICATIONS ON BIOFORTIFICATION, NUTRITIONAL VALUE, AND FUNCTIONAL QUALITY OF VEGETABLES

ABSTRACT

Selenium (Se) has received increasing attention in agronomic biofortification due to its essential role in human health and its potential to improve the nutritional value of plant-derived foods. Controlled enrichment of edible vegetable tissues with Se represents a sustainable approach to improving dietary Se intake, particularly in populations with inadequate Se consumption. Although Se is not considered an essential element for most higher plants, its application at appropriate concentrations can influence plant metabolism, mineral nutrition, antioxidant defense, and the biosynthesis of secondary metabolites. Selenium biofortification of vegetables can be achieved through soil and foliar applications, as well as through supplementation of nutrient solutions in hydroponic and other soilless cultivation systems. *Brassica* and *Allium* species and leafy vegetables are particularly promising because of their capacity to accumulate Se in edible tissues. Recent studies indicate that appropriate Se application can increase Se concentrations in edible plant parts while also influencing nutritional and functional quality attributes, including phenolic compounds, flavonoids, antioxidant capacity, and mineral composition. However, plant responses to Se vary considerably depending on species and genotype, Se chemical form, application method and dose, and cultivation conditions. Excessive Se concentrations may adversely affect plant growth and yield, highlighting the importance of determining crop-specific optimum application rates and ensuring food safety. This review evaluates current knowledge regarding Se uptake and metabolism in vegetables, biofortification approaches, and their effects on nutritional and functional quality. Overall, the development of appropriate Se application strategies represents a promising approach for the safe enrichment of vegetables with Se while potentially improving their nutritional value and functional quality.

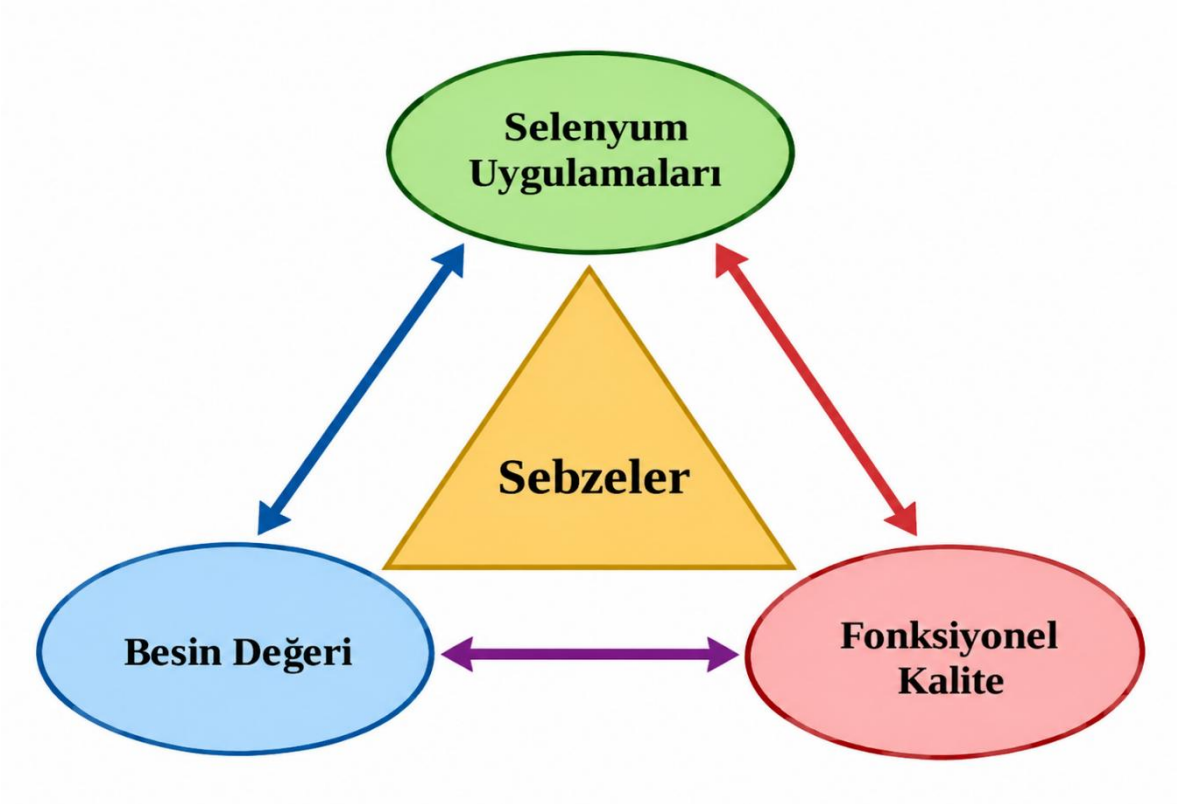
Keywords: Selenium, biofortification, vegetables, nutritional value, functional quality

1. GİRİŞ

Mikro besin elementi yetersizlikleri, toplam enerji alımının yeterli olduğu toplumlarda dahi insan sağlığını etkileyen önemli beslenme sorunlarından biri olmaya devam etmektedir. Bu mikro besin elementleri arasında selenyum (Se), insanlar için esansiyel bir eser element olması ve çeşitli fizyolojik süreçlerde görev alan selenoproteinlerin yapısına katılması nedeniyle özel bir öneme sahiptir. Selenyum; antioksidan savunma sisteminin işleyişi, hücresel redoks dengesinin korunması, tiroid hormonlarının metabolizması ve bağışıklık sistemiyle ilişkili süreçlerde önemli roller üstlenmektedir (Danso et al., 2023; Wang et al., 2025). Bununla birlikte, Se'nin insan beslenmesindeki etkisi alınan miktarla yakından ilişkili olup yeterli ve güvenli Se alımının sağlanması insan beslenmesi açısından önem taşımaktadır. Diyetle alınan Se miktarı dünya genelinde önemli coğrafi farklılıklar göstermektedir. Bu farklılığın temel nedenlerinden biri, tarım topraklarındaki Se miktarı ve özellikle Se'nin bitkiler tarafından alınabilir formdaki yarayışlılığıdır. Toprak pH'sı, organik madde içeriği ve redoks koşulları gibi özelliklerin yanı sıra bitki türü ve genotipi, yetiştirme sistemi, gübreleme uygulamaları ve çevresel koşullar da bitkisel ürünlerdeki Se konsantrasyonunu önemli ölçüde

etkileyebilmektedir (Liao et al., 2024; Wang et al., 2025). Bitkiler, aldıkları inorganik Se formlarını farklı metabolik süreçler aracılığıyla organik Se bileşiklerine dönüştürebildiğinden, bitkisel kaynaklı gıdalar Se'nin insan besin zincirine aktarılmasında önemli bir role sahiptir. Bu kapsamda agronomik biyofortifikasyon, yenilebilir bitki organlarındaki hedef besin elementinin konsantrasyonunun ve/veya besinsel yarayışlılığının yetiştiricilik uygulamaları aracılığıyla artırılmasını amaçlamaktadır. Selenyum biyofortifikasyonu; topraktan gübreleme, yapraktan uygulama ve hidroponik veya diğer topraksız yetiştirme sistemlerinde besin çözeltisine Se ilavesi gibi farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir (Danso et al., 2023; Wang et al., 2025). Kullanılan yöntemin etkinliği; Se'nin kimyasal formu, uygulama dozu ve zamanı, bitkinin gelişme dönemi, yetiştirme ortamı ve bitki türünün Se biriktirme kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle yapraktan uygulama, Se'nin doğrudan bitkinin toprak üstü organlarına ulaştırılabilmesi açısından önemli bir yöntem olurken, hidroponik sistemler kök bölgesindeki Se konsantrasyonunun daha hassas biçimde kontrol edilmesine olanak sağlamaktadır (Spyrou et al., 2025). Sebzeler; insan beslenmesinde yaygın olarak tüketilmeleri, vitaminler, mineraller ve çeşitli biyoaktif bileşikler bakımından önemli kaynaklar olmaları ve birçok türün yenilebilir organlarında Se biriktirebilmesi nedeniyle biyofortifikasyon açısından dikkat çekmektedir. Özellikle *Brassica* ve *Allium* türleri ile bazı yapraklı sebzeler Se biriktirme ve metabolize etme kapasiteleri bakımından öne çıkmaktadır (Wang et al., 2025). Bununla birlikte, Se biriktirme kapasitesinin bitki türleri ve genotipler arasında önemli ölçüde değişebilmesi, biyofortifikasyon stratejilerinin türe ve yetiştirme sistemine özgü olarak geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Son yıllarda Se biyofortifikasyonu kavramı yalnızca yenilebilir dokulardaki Se konsantrasyonunun artırılmasıyla sınırlı kalmamış, ürünlerin besinsel, fitokimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilmesini de kapsayan daha geniş bir yaklaşıma dönüşmüştür. Uygun konsantrasyonlarda uygulanan Se'nin bitkilerin antioksidan savunma sistemi, mineral beslenmesi, amino asit metabolizması ve sekonder metabolit sentezi üzerinde etkili olabildiği bildirilmektedir (Shangguan et al., 2025). Özellikle fenolik bileşikler ve flavonoidler gibi antioksidan özellik gösteren sekonder metabolitlerin Se uygulamalarından etkilenebildiği bildirilmektedir. Nitekim *Brassica* türlerini kapsayan sistematik derleme ve meta-analizde, Se biyofortifikasyonunun toplam fenolik madde içeriğini genel olarak artırdığı; ancak çalışmalar arasındaki yüksek heterojenliğin bitki türü, Se dozu, uygulama şekli ve yetiştirme koşullarının yanıt üzerinde önemli rol oynadığını gösterdiği bildirilmiştir (Kamchen et al., 2024). Bununla birlikte, Se'nin bitkiler üzerindeki etkileri uygulama dozuna bağlıdır ve düşük veya uygun konsantrasyonlarda ortaya çıkan olumlu yanıtlar, aşırı Se düzeylerinde fitotoksik etkilere dönüşebilmektedir. Bitki türü ve genotipi, Se'nin kimyasal formu, uygulama yöntemi, doz ve zamanlama ile yetiştirme ortamı, biyofortifikasyon başarısını belirleyen başlıca faktörlerdir (Danso et al., 2023; Wang et al., 2025). Bu nedenle Se biyofortifikasyonunun temel amacı bitki dokularındaki Se konsantrasyonunu maksimum düzeye çıkarmak değil; ürün verimi, kalite özellikleri ve tüketici güvenliği korunarak beslenme açısından anlamlı düzeyde Se zenginleşmesini sağlamaktır. Bu bağlamda, sebzelerde Se biyofortifikasyonunun yalnızca mineral zenginleştirme açısından değil; besin değeri, fitokimyasal kompozisyon, antioksidan özellikler ve fonksiyonel gıda potansiyeli açısından da bütüncül olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu derlemede, sebze bitkilerinde Se'nin alımı, taşınması ve metabolizması; başlıca Se uygulama yöntemleri; biyofortifikasyon etkinliği; mineral besin elementi kompozisyonu, fenolik bileşikler ve antioksidan kapasite üzerindeki etkileri ile optimum doz,

toksisite ve gıda güvenliği güncel literatür doğrultusunda ele alınmıştır. Ayrıca hidroponik ve kontrollü ortam yetiştiriciliğinin Se biyofortifikasyonundaki potansiyeli ile Se bakımından zenginleştirilmiş sebzelerin insan beslenmesindeki gelecekteki kullanım olanakları değerlendirilmiştir. Selenyum biyofortifikasyonunun etkileri yalnızca yenilebilir dokulardaki Se konsantrasyonunun artırılmasıyla sınırlı olmayıp, sebzelerin besin değeri ve fonksiyonel kalite özelliklerindeki değişimleri de kapsamaktadır. Bu temel ilişkiler Görsel 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Görsel 1. Sebzelerde selenyum uygulamaları ile besin değeri ve fonksiyonel kalite arasındaki ilişkilerin şematik gösterimi.

2. SELENYUMUN BİTKİ VE İNSAN BESLENMESİNDEKİ ÖNEMİ

Selenyum (Se), insanlar için esansiyel bir eser element olmasına karşın, yüksek bitkilerin çoğunda esansiyel bir besin elementi olarak kabul edilmemekte ve daha çok yararlı bir element olarak değerlendirilmektedir. İnsanlarda Se'nin biyolojik işlevleri büyük ölçüde selenoproteinler aracılığıyla gerçekleşmekte; bu proteinler antioksidan savunma, hücresel redoks dengesinin düzenlenmesi, tiroid hormonlarının metabolizması ve bağışıklık sisteminin işleyişi gibi çeşitli fizyolojik süreçlerde önemli roller üstlenmektedir (Qi et al., 2024). Ayrıca Se'nin insanlardaki biyoyararlılığı ve biyolojik etkileri yalnızca alınan toplam miktara değil, Se'nin kimyasal formuna da bağlı olarak değişebilmektedir. Bitkiler, Se'nin topraktan insan besin zincirine aktarılmasında temel bir bağlantı oluşturmaktadır. Bitkisel ürünlerdeki Se konsantrasyonu ve kimyasal formu; topraktaki Se miktarı ve türleşmesi, pH, organik madde, redoks koşulları ve mikrobiyal aktivitenin yanı sıra bitki türü ve çevresel koşullardan etkilenmektedir. Bu nedenle tarım topraklarında Se'nin düşük düzeyde bulunması veya bitkiler

tarafından alınabilirliğinin sınırlı olması, yenilebilir bitki dokularındaki Se konsantrasyonunu azaltarak diyetle Se alımını sınırlandırabilmektedir (Qu et al., 2023). Bitkilerde Se'nin etkileri büyük ölçüde uygulama konsantrasyonuna bağlıdır. Düşük veya uygun konsantrasyonlarda Se; bitki büyümesi, antioksidan savunma sistemi ve çevresel stres koşullarına karşı toleransla ilişkili çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri olumlu yönde etkileyebilmektedir. Özellikle reaktif oksijen türlerinin kontrolü, antioksidan bileşiklerin sentezi ve redoks homeostazının korunması, Se'nin bitkilerdeki yararlı etkilerinin temel bileşenleri arasında değerlendirilmektedir (Ikram et al., 2024; Hasanuzzaman et al., 2024). Bununla birlikte, bu olumlu etkilerin büyüklüğü bitki türü, beslenme durumu, stres koşulları ve uygulanan Se konsantrasyonuna göre değişebilmektedir. Buna karşılık, bitkinin tolerans sınırlarını aşan Se konsantrasyonları fitotoksik etkilere neden olabilmektedir. Aşırı Se; mineral elementlerin alımını ve metabolizmasını bozabilmekte, fotosentetik süreçleri sınırlandırabilmekte, oksidatif hasarı artırabilmekte ve sonuç olarak kök ve sürgün gelişimi ile biyokütle oluşumunu azaltabilmektedir (Zhang et al., 2023; Cruz, 2025). Dolayısıyla Se'nin bitkiler üzerindeki etkisi, yararlı ve toksik konsantrasyonlar arasında hassas bir denge göstermektedir. Se'nin konsantrasyona bağlı bu çift yönlü etkisi, agronomik biyofortifikasyon açısından büyük önem taşımaktadır. Biyofortifikasyonda temel amaç, bitki dokularında mümkün olan en yüksek Se birikimini sağlamak yerine; bitki büyümesi, verim ve ürün kalitesini koruyarak yenilebilir dokularda insan beslenmesi açısından anlamlı ve güvenli düzeyde Se birikimini sağlamaktır. Ayrıca Se'nin kimyasal formu, biyoyararlılığı ve tüketim miktarı da biyofortifiye ürünlerin besinsel değerinin ve güvenliğinin değerlendirilmesinde dikkate alınmalıdır (Qi et al., 2024). Bu nedenle başarılı bir Se biyofortifikasyon stratejisinde bitki türü ve genotipi, Se formu, uygulama dozu ve yetiştirme koşullarının birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

3. BİTKİLERDE SELENYUMUN ALIMI, TAŞINMASI VE METABOLİZMASI

Selenyumun bitkilerdeki metabolizması, kimyasal özelliklerinin benzerliği nedeniyle kükürt metabolizmasıyla yakından ilişkilidir. Bitki biyofortifikasyonunda kullanılan başlıca inorganik Se formları selenat ve selenittir. Bu iki formun bitki tarafından alınması, hareketliliği ve metabolizması önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Selenat genel olarak sülfat taşıma sistemleri aracılığıyla alınmakta ve bitki içerisinde nispeten yüksek hareketlilik göstermektedir. Kökler tarafından alındıktan sonra ksilem yoluyla bitkinin toprak üstü organlarına taşınabilmektedir. Selenit ise farklı alım ve asimilasyon yolları izlemekte ve kök dokularında organik Se bileşiklerine daha hızlı dönüştürülebilmektedir. Bitki tarafından alındıktan sonra inorganik Se, kükürt ile ilişkili metabolik yollara katılarak selenosistein ve selenometiyonin gibi organik Se bileşiklerine dönüştürülebilmektedir. Bazı bahçe bitkileri ayrıca metillenmiş Se bileşiklerini de sentezleyebilmektedir. İnorganik ve organik Se formlarının nispi oranları, hem bitki metabolizmasını hem de Se ile zenginleştirilmiş ürünlerin besinsel özelliklerini etkilediğinden büyük önem taşımaktadır. Bitki türleri arasında Se biriktirme kapasitesi açısından önemli farklılıklar bulunmaktadır. *Brassica* türleri, *Allium* türleri ve bazı yapraklı sebzeler, yüksek Se biriktirme ve metabolize etme kapasiteleri nedeniyle biyofortifikasyon açısından özellikle dikkat çekmektedir. Bu nedenle türler ve genotipler arasındaki farklılıkların, gübreleme dozları ve hedef Se konsantrasyonları belirlenirken dikkate alınması gerekmektedir (Qu et al., 2023).

4. SELENYUM UYGULAMA YÖNTEMLERİ

4.1. TOPRAKTAN UYGULAMA

Topraktan uygulama, agronomik Se biyofortifikasyonunda kullanılan geleneksel yöntemlerden biridir. Se içeren gübreler toprağa uygulanmakta ve daha sonra bitki kökleri tarafından alınmaktadır. Bununla birlikte, yöntemin etkinliği toprak özelliklerinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Toprak pH'sı, tekstür, organik madde miktarı, redoks koşulları, mikrobiyal aktivite, rekabet eden iyonlar ve toprağın başlangıçtaki Se düzeyi, Se'nin bitkiye yarayışlılığını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Toprağa uygulanan Se'nin bir kısmı immobilize olarak bitki tarafından alınamaz hale gelebilmektedir. Bu nedenle pH, toprak nemi, organik madde, redoks koşulları ve rizosferdeki mikrobiyal süreçleri etkileyen yetiştiricilik uygulamaları, Se'nin topraktan bitkiye geçişini değiştirebilmektedir (Liao et al., 2024).

4.2. YAPRAKTAN UYGULAMA

Yapraktan Se uygulaması, Se'nin bitkinin toprak üstü dokularına daha doğrudan ulaştırılmasını sağlamaktadır ve bazı üretim koşullarında toprak uygulamalarına kıyasla daha yüksek biyofortifikasyon etkinliği gösterebilmektedir. Özellikle toprak özelliklerinin Se yarayışlılığını sınırladığı koşullarda önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Yapraktan uygulamanın etkinliği; Se konsantrasyonu ve kimyasal formu, yaprak özellikleri, bitkinin gelişme dönemi, uygulama sayısı ve çevresel koşullara bağlıdır. Güncel araştırmalar, özellikle uygulama zamanı ve dozunun yenilebilir dokulardaki Se birikiminin temel belirleyicileri arasında olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, aşırı yaprak Se konsantrasyonları doku hasarına veya istenmeyen düzeyde Se birikimine neden olabilmektedir. Dolayısıyla yapraktan uygulama protokollerinin sebze türü ve üretim sistemine göre optimize edilmesi gerekmektedir.

4.3. HİDROPONİK VE TOPRAKSIZ SİSTEMLERDE UYGULAMA

Hidroponik ve diğer topraksız yetiştirme sistemleri, kök bölgesine verilen Se konsantrasyonunun hassas biçimde kontrol edilebilmesine olanak sağlamaları nedeniyle biyofortifikasyon açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Ayrıca bu sistemler, toprakta Se'nin bağlanması ve besin elementlerinin heterojen dağılımından kaynaklanan belirsizlikleri azaltabilmektedir. Spyrou et al. (2025), topraksız yetiştirme koşullarında semizotu (*Portulaca oleracea*), karahindiba (*Taraxacum officinale*) ve buz bitkisine (*Mesembryanthemum crystallinum*) besin çözeltisi aracılığıyla 0, 1, 2 ve 4 μM SeO_2 uygulamıştır. Se uygulamalarının dokulardaki Se konsantrasyonunu artırdığı ve verim ile antioksidan özellikleri etkilediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, en yüksek uygulama düzeyinde buz bitkisinin daha düşük Se dozlarındaki olumlu verim yanıtını sürdürememesi, Se'ye verilen yanıtın tür ve doza bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, hidroponik sistemlerin besinsel özellikleri öngörülebilir Se ile zenginleştirilmiş sebzelerin üretimindeki potansiyelini ortaya koyarken, aynı zamanda her tür için uygun dozların ayrı ayrı belirlenmesinin gerekliliğini göstermektedir.

5. SEBZELERDE SELENYUM BİYOFORTİFİKASYONU

Sebze türleri Se biriktirme kapasiteleri bakımından önemli farklılıklar göstermektedir. *Brassica* grubu sebzeler, Se'nin kükürtle ilişkili metabolik yollara katılabilmesi ve yenilebilir dokularda Se içeren bileşikler halinde birikebilmesi nedeniyle yoğun biçimde araştırılmıştır. *Allium* türleri ve bazı yapraklı sebzeler de Se biyofortifikasyonu açısından önemli potansiyele sahiptir.

Agronomik biyofortifikasyon, genetik modifikasyona gerek kalmadan ürünlerin Se içeriğinin artırılmasına olanak sağlamakta ve mevcut üretim sistemlerine nispeten kolay biçimde entegre edilebilmektedir. Bununla birlikte, Se ile zenginleştirmenin etkinliği; bitki türü, gübre dozu, uygulama yöntemi, Se formu ile toprak ve iklim koşullarından etkilenmektedir. Hidroponik olarak yetiştirilen yapraklı sebzeler, kök bölgesindeki Se konsantrasyonunun hassas biçimde kontrol edilebilmesi nedeniyle ek olanaklar sunmaktadır. Semizotu, karahindiba ve buz bitkisi ile gerçekleştirilen çalışmalar, geleneksel olarak daha az kullanılan yapraklı sebzelerin de Se ile zenginleştirilmiş gıdaların üretiminde değerlendirilebileceğini göstermektedir (Spyrou et al., 2025). Ancak biyofortifikasyon başarısının yalnızca dokulardaki toplam Se konsantrasyonuna göre değerlendirilmesi yeterli değildir. Yenilebilir biyokütle, Se'nin kimyasal formu, ürün verimi, tüketilen porsiyon miktarı ve gerçek diyet maruziyeti, Se ile zenginleştirilmiş sebzelerin beslenme açısından önemini belirleyen temel faktörlerdir.

6. SELENYUMUN MİNERAL BESİN İÇERİĞİNE ETKİLERİ

Selenyum uygulamaları diğer mineral elementlerin alımını, taşınmasını ve bitki dokularındaki birikimini değiştirebilmektedir. Bu etkileşimlerin bir bölümü, Se'nin özellikle kükürt ile ortak veya ilişkili alım ve metabolik yolları kullanmasından kaynaklanmaktadır. Selenyum ile azot, fosfor, kükürt ve diğer mineral elementler arasındaki etkileşimler; bitki türü, beslenme durumu, Se formu ve uygulama konsantrasyonuna bağlı olarak sinerjik, antagonistik veya nötr olabilmektedir. Bu durum, bitkilerin mineral beslenmesinin yalnızca Se üzerinden değil, bütüncül biçimde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Beslenme açısından temel hedef, sebzelerin Se içeriğinin artırılması sırasında Fe, Zn, Ca veya Mg gibi diğer önemli mineral elementlerin konsantrasyonlarında istenmeyen azalmaların ortaya çıkmamasıdır. Bu nedenle biyofortifikasyon çalışmalarında yalnızca Se konsantrasyonunun değil, yenilebilir dokuların genel mineral kompozisyonunun da belirlenmesi önem taşımaktadır.

7. FENOLİK BİLEŞİKLER VE ANTİOKSİDAN KAPASİTE ÜZERİNE ETKİLERİ

Se biyofortifikasyonunun en dikkat çekici yönlerinden biri, antioksidan özellik gösteren sekonder metabolitler üzerindeki potansiyel etkisidir. Fenolik bileşikler ve flavonoidler, hem bitki savunmasındaki rolleri hem de sebzelerin besinsel ve fonksiyonel kalite özelliklerine katkıları nedeniyle önem taşımaktadır. Kamchen et al. (2024), *Brassica* türlerinde Se biyofortifikasyonunun toplam fenolik bileşikler üzerindeki etkilerini değerlendiren sistematik bir derleme ve meta-analiz gerçekleştirmiştir. Çalışmada on araştırma nitel senteze, dört araştırma ise nicel meta-analize dahil edilmiştir. Genel olarak Se ile biyofortifiye edilen bitkilerin toplam fenolik madde içeriğinin kontrol bitkilerine göre anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($P = 0.002$). Bununla birlikte, çalışmalar arasındaki heterojenliğin oldukça yüksek olması ($I^2 = \%97$), yanıtın büyüklüğü ve yönünün bitki türü, Se uygulaması, yetiştirme koşulları ve deneysel metodolojiye güçlü biçimde bağlı olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, Se'nin belirli fitokimyasal özellikleri iyileştirme potansiyelini desteklemekle birlikte, "Se uygulaması her durumda fenolik bileşikleri artırır" şeklindeki genellemelerden kaçınılması gerektiğini göstermektedir. Güncel araştırmalar ayrıca Se biyofortifikasyonunun flavonoidler, fenolik bileşikler, amino asitler, çözünür şekerler, mineral elementler ve kaliteyle ilişkili diğer metabolitleri etkileyebileceğini göstermektedir. Bu yanıtların antioksidan metabolizmadaki değişimler ve daha geniş kapsamlı metabolik düzenlemelerle ilişkili olduğu düşünülmektedir.

8. ÜRÜN KALİTESİ VE FONKSİYONEL GIDA POTANSİYELİ

Se biyofortifikasyonunun önemi, yalnızca yenilebilir dokulardaki tek bir mineral elementin konsantrasyonunu artırmakla sınırlı değildir. İdeal bir biyofortifikasyon uygulamasında, Se zenginleşmesinin geleneksel ürün kalite özellikleri korunarak veya iyileştirilerek gerçekleştirilmesi amaçlanmalıdır. Bitki türüne ve uygulama koşullarına bağlı olarak Se uygulamaları; çözünür kuru madde, şekerler, organik asitler, pigmentler, fenolik bileşikler, flavonoidler, antioksidan kapasite, protein ve amino asit kompozisyonu ile mineral madde profilini etkileyebilmektedir. Bu değişimler, agronomik biyofortifikasyon ile fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş sebze üretimi arasında önemli bir bağlantı oluşturmaktadır. Örneğin Spyrou et al. (2025), Se uygulamalarının üç farklı yapraklı sebze türünde yalnızca Se birikimini değil, aynı zamanda verim ve antioksidan özellikleri de etkilediğini bildirmiştir. Bu nedenle Se ile zenginleştirilmiş sebzeler, fonksiyonel gıda üretimi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte, "fonksiyonel gıda" kavramının dikkatli kullanılması gerekmektedir. Yalnızca Se konsantrasyonunun veya antioksidan bileşiklerin artması, tek başına klinik açıdan kanıtlanmış bir sağlık yararı anlamına gelmemektedir. Besin elementinin biyoyararlılığı, tüketim miktarı, duyusal kalite, güvenlik ve insan beslenmesine yönelik çalışmalar da birlikte değerlendirilmelidir.

9. OPTİMUM DOZ, TOKSİSİTE VE GIDA GÜVENLİĞİ

Yararlı ve aşırı Se düzeyleri arasındaki dengenin belirlenmesi, başarılı bir biyofortifikasyon programının temelini oluşturmaktadır. Uygun konsantrasyonlarda Se, yenilebilir dokuların Se içeriğini artırabilmekte ve bazı fizyolojik ve kalite özelliklerini olumlu yönde etkileyebilmektedir. Buna karşılık, aşırı Se konsantrasyonları hücresel metabolizmayı bozarak bitki büyümesi ve verim üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Danso et al., 2023; Zhou et al., 2023). Optimum Se konsantrasyonu; bitki türü, genotip, Se'nin kimyasal formu, uygulama yöntemi, yetiştirme ortamı, çevresel koşullar ve hedeflenen bitki organından bağımsız olarak belirlenemez. Bu nedenle farklı sebze türleri ve üretim sistemleri için ayrı doz optimizasyon çalışmalarına gereksinim bulunmaktadır (Danso et al., 2023; Zhou et al., 2023). Spyrou et al. (2025) tarafından gerçekleştirilen çalışma, türe özgü yanıtların açık bir örneğini sunmaktadır. SeO_2 uygulaması bazı verim ve besinsel özellikleri olumlu yönde etkilemiş olmakla birlikte, buz bitkisi en yüksek Se konsantrasyonunda daha düşük dozlarda gözlenen olumlu verim yanıtını sürdürememiştir. Gıda güvenliği de agronomik optimizasyonun ayrılmaz bir parçası olmalıdır. Biyofortifikasyonun amacı, bitki dokularındaki Se miktarını mümkün olduğunca yükseltmek değil, tüketicilerin Se alımını beslenme açısından uygun ve güvenli düzeylere taşıyacak bir zenginleştirme sağlamaktır. Bu nedenle gelecekteki araştırmalarda toplam Se konsantrasyonu + Se türleşmesi + yenilebilir verim + porsiyon başına Se alımı + diğer esansiyel mineral elementler birlikte değerlendirilmelidir. Böyle bir yaklaşım, Se biyofortifikasyonunun beslenme ve gıda güvenliği açısından daha kapsamlı değerlendirilmesini sağlayacaktır.

10. İNSAN BESLENMESİ AÇISINDAN ÖNEMİ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Se biyofortifikasyonunun temel gerekçesi, insan beslenmesine sağlayabileceği potansiyel katkıdır. Agronomik biyofortifikasyon, özellikle tarım topraklarının ve yerel olarak üretilen

gıdaların Se bakımından yetersiz olduğu bölgelerde, beslenme çeşitliliği ve geleneksel takviye yaklaşımlarını tamamlayabilecek bir strateji olarak değerlendirilebilir. Sebze türleri, yaygın olarak tüketilmeleri ve Se biriktirme kapasiteleri bakımından geniş bir çeşitlilik göstermeleri nedeniyle bu amaç için önemli bir potansiyele sahiptir. Ayrıca birçok sebzenin taze veya sınırlı işlemden geçirilerek tüketilmesi, üretimden tüketime kadar geçen süreçte besin kayıplarının sınırlandırılması açısından avantaj sağlayabilir (Schiavon et al., 2020). Gelecekteki araştırmalarda farklı tür ve genotipler için doz-yanıt ilişkilerinin tarla, sera, hidroponik ve dikey tarım koşullarında ayrıntılı biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Farklı Se formlarının bitkideki hareketliliği, metabolizması, besinsel biyoyararlılığı ve toksikolojik önemi farklılık gösterebildiğinden, Se türleşmesine daha fazla önem verilmelidir. Kontrollü ortam tarımı, Se biyofortifikasyonu açısından özellikle umut verici bir araştırma alanıdır. Hidroponik sistemlerde bitkinin belirli gelişme dönemlerinde Se uygulamasının hassas biçimde düzenlenmesi, daha öngörülebilir Se içeriğine sahip sebzelerin üretilmesine olanak sağlayabilir. Besin çözeltisinin hassas yönetimi aynı zamanda Se biyofortifikasyonunun diğer besinsel kalite hedefleriyle birlikte ele alınmasını kolaylaştırabilir. Bir diğer önemli araştırma konusu, Se'nin özellikle S, N, P, Fe ve Zn ile olan etkileşimleridir. Bu etkileşimlerin daha iyi anlaşılması, ürün performansı veya mineral besin dengesi bozulmadan çoklu element biyofortifikasyon stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Son olarak, bahçe bitkileri bilimi ile insan beslenmesi araştırmaları arasındaki iş birliğinin güçlendirilmesi gerekmektedir. Agronomik çalışmalar, ürünlerde Se konsantrasyonunun artırılabildiğini gösterebilir; ancak Se'nin biyoyararlılığının ve Se ile zenginleştirilmiş sebzelerin düzenli tüketiminin insanlarda Se beslenme durumunu iyileştirip iyileştirmediğinin ortaya konulması için beslenme ve klinik araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır (D'Amato et al., 2020).

11. SONUÇ

Selenyum biyofortifikasyonu, sebze yetiştiriciliği, bitki besleme ve insan beslenmesi arasında önemli bir bağlantı oluşturmaktadır. Uygun agronomik Se uygulamaları, sebzelerin yenilebilir dokularındaki Se konsantrasyonunu önemli ölçüde artırabilmekte; aynı zamanda fenolik bileşikler, antioksidan kapasite, mineral kompozisyon ve diğer fonksiyonel kalite özelliklerinde değişikliklere yol açabilmektedir. Mevcut bilimsel bulgular özellikle *Brassica* türleri, *Allium* türleri ve yapraklı sebzeler açısından umut vericidir. Meta-analiz sonuçları, *Brassica* türlerinde Se biyofortifikasyonunun genel olarak toplam fenolik madde içeriğini artırabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, çalışmalar arasındaki yüksek heterojenlik, söz konusu etkinin tüm tür ve üretim koşullarına genellenemeyeceğini açıkça ortaya koymaktadır. Hidroponik çalışmalar ise hassas biçimde kontrol edilen Se uygulamalarının yapraklı sebzelerin Se ile başarılı biçimde zenginleştirilmesine olanak sağladığını ve aynı zamanda verim ile antioksidan özellikleri etkileyebildiğini göstermektedir. Bu nedenle Se biyofortifikasyonunun temel amacı, bitki dokularındaki Se konsantrasyonunu maksimum düzeye çıkarmak olmamalıdır. Bunun yerine, bitki büyümesi, pazarlanabilir verim, ürün kalitesi ve tüketici güvenliği korunarak beslenme açısından anlamlı Se zenginleşmesini sağlayacak **ürüne ve üretim sistemine özgü uygulama stratejilerinin** geliştirilmesi gerekmektedir. Gelecekte Se türleşme analizlerinin, kontrollü ortam yetiştiriciliğinin, hassas bitki beslemenin, çoklu element biyofortifikasyonunun ve insan beslenmesi araştırmalarının birlikte değerlendirilmesi, deneysel Se

biyofortifikasyonunun güvenli ve uygulanabilir sebze üretim stratejilerine dönüştürülmesi açısından kritik öneme sahip olacaktır.

KAYNAKÇA

Cruz, F. J. R. Selenium in plants: Biofortification, toxicity, and redox state balance, In Selenium and Human Health, IntechOpen, 2025. DOI: 10.5772/intechopen.1004271.

Danso, O. P., Asante-Badu, B., Zhang, Z., Song, J., Wang, Z., Yin, X., Zhu, R. Selenium biofortification: Strategies, progress and challenges, Agriculture, 13, 2, 416, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13020416.

Hasanuzzaman, M., Raihan, M. R. H., Siddika, A., Bardhan, K., Hosen, M. S., Prasad, P. V. V. Selenium and its nanoparticles modulate the metabolism of reactive oxygen species and morpho-physiology of wheat (Triticum aestivum L.) to combat oxidative stress under water deficit conditions, BMC Plant Biology, 24, 578, 2024. DOI: 10.1186/s12870-024-05282-3.

Ikram, S., Li, Y., Lin, C., Yi, D., Heng, W., Li, Q., Tao, L., Hongjun, Y., Weijie, J. Selenium in plants: A nexus of growth, antioxidants, and phytohormones, Journal of Plant Physiology, 296, 154237, 2024. DOI: 10.1016/j.jplph.2024.154237.

Kamchen, C. M., de Oliveira, F. L., de Souza, T. R., Vieira, B. S., Telles, B., Morzelle, M. C. Biofortification with selenium as an alternative to increase the total phenolic compounds in brassicas: A systematic review and meta-analysis, Journal of the Science of Food and Agriculture, 104, 3, 1234–1243, 2024. DOI: 10.1002/jsfa.13020.

Liao, Q., Xing, Y., Li, A. M., Liang, P. X., Jiang, Z. P., Liu, Y. X., Huang, D. L. Enhancing selenium biofortification: Strategies for improving soil-to-plant transfer, Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 11, 148, 2024. DOI: 10.1186/s40538-024-00672-z.

Qi, Z., Duan, A., Ng, K. Selenosugar, selenopolysaccharide, and putative selenoflavonoid in plants, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 23, 3, e13329, 2024. DOI: 10.1111/1541-4337.13329.

Qu, L., Xu, J., Dai, Z., Elyamine, A. M., Huang, W., Han, D., Dang, B., Xu, Z., Jia, W. Selenium in soil-plant system: Transport, detoxification and bioremediation, Journal of Hazardous Materials, 452, 131272, 2023. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2023.131272.

Shangguan, Y., Zhu, J., Ye, J., Korpelainen, H., Li, C. Selenium phytofortification: Enhanced stress resistance and nutraceutical enrichment in horticultural crops, Horticulture Research, 12, 12, uhaf236, 2025. DOI: 10.1093/hr/uhaf236.

Spyrou, G. P., Ntanasi, T., Karavidas, I., Marka, S., Giannothanasis, E., Vultaggio, L., Gohari, G., Sabatino, L., Ntatsi, G. Enhancing nutritional and functional properties of hydroponically grown underutilised leafy greens through selenium biofortification, Plants, 14, 17, 2716, 2025. DOI: 10.3390/plants14172716.

Wang, L., Shafiq, F., Ding, Z., He, Y. Integrating molecular mechanisms and agronomic strategies for selenium biofortification in horticultural crops, Frontiers in Plant Science, 16, 1714617, 2025. DOI: 10.3389/fpls.2025.1714617.

Zhang, W., He, X., Chen, X., Han, H., Shen, B., Diao, M., Liu, H. Exogenous selenium promotes the growth of salt-stressed tomato seedlings by regulating ionic homeostasis, activation energy allocation and CO_2 assimilation, Frontiers in Plant Science, 14, 1206246, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1206246.

Zhou, B., Cao, H., Wu, Q., Mao, K., Yang, X., Su, J., Zhang, H. Agronomic and genetic strategies to enhance selenium accumulation in crops and their influence on quality, Foods, 12, 24, 4442, 2023. DOI: 10.3390/foods12244442.

ASPECTUAL VARIATION IN SOME MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ANATOLIAN BLACK PINE SAPLINGS

Dr. Mahmut ÇERÇİOĞLU

Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Gölhisar Vocational School, Department of Forestry, 15400, Burdur, Türkiye

cercioglumahmut@gmail.com - 0000-0003-2618-324X

ABSTRACT

Anatolian black pine [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe], is one of the five subspecies of Black pine (*P. nigra* Arnold.), and is mainly distributed in Türkiye, covering about 3.5 million ha under different ecological conditions. Its distribution covers about 15% of the total Turkish forest area of 23.4 million ha. Natural regeneration practices are important tools for the sustainability of these forests.

Variation and correlations of height, diameter at breast height and crown area of 30 naturally regenerated saplings aged 15–16 years sampled from each main aspect (north, south, east and west) were investigated to contribute to forestry practices of the species in this study. Averages of height (10.8 m), diameter at breast height (20.5 cm), and crown area (73.7 m²) were the highest at the east aspect, while saplings showed large variation within aspects for the characteristics. For instance, height ranged from 7.6 m to 10.6 m at the north aspect. Aspects showed significant ($p<0.01$) differences for height and crown area, but not for diameter at breast height ($p>0.05$), according to the results of analysis of variance. Results of correlation analysis indicated no significant ($p>0.05$) correlations among the characteristics at north and east aspects, while there were significant relationships between height and diameter at breast height at west (positive, $p<0.01$) and south (negative, $p<0.05$) aspects, and a positive and significant ($p<0.01$) relationship between height and crown area across all aspects. The results emphasized the importance of aspect in forestry practices.

Key Words: Forestry, diameter, height, seedling, reproduction.

1. INTRODUCTION

Anatolian black pine [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] is one of the five subspecies of black pine (*P. nigra* Arnold.) and is mainly distributed in Türkiye [1,2]. It grows up to 40 m in height and more than 1 m in diameter [3]. It is also one of the main species included in the “National Tree Breeding and Seed Production Programme” because of its wide distribution and valuable timber [4]. According to the latest inventory, it has a natural distribution area of approximately 3.5 million ha, representing about 15% of Türkiye's total forest area of 23.4 million ha across different ecological conditions (Table 1, Figure 1) [5,6]. Natural regeneration practices are important tools for sustaining these forests and transmitting their existing genetic diversity to the next generation. Aspect is also an easily measurable

criterion in forestry practices. However, relatively few studies have been conducted on the early stages of natural regeneration in Anatolian black pine [7–13].

Table 1. Area (million ha) of Anatolian black pine and Türkiye for the last five years

Years	*Pinus nigra*		Türkiye	
	Productive (million ha, %)	Total (million ha)	Productive (million ha, %)	Total (million ha)
2021	2.87 (68%)	4.23	13.50 (58%)	23.11
2022	2.82 (69%)	4.08	13.71 (59%)	23.25
2023	2.82 (69%)	4.08	13.71 (59%)	23.36
2024	2.81 (68%)	4.12	13.81 (59%)	23.36
2025	2.64 (77%)	3.45	13.89 (59%)	23.38



Figure 1. Natural distribution area of Anatolian black pine in Türkiye

In this study, variation and relationships among some morphological characteristics of 15–16-year-old Anatolian black pine saplings were examined across four main aspects to contribute to forestry practices of the species.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material and data collection

Height (**H**), diameter at breast height (**DBH**) and crown area (**CA**) were measured from 30 Anatolian black pine saplings sampled from each of the four main aspects (North–**N**, South–**S**, East–**E** and West–**W**), resulting in a total of 120 saplings. The sampled saplings were 15–16

years old and originated from a natural regeneration area of the species (36°59′47″ N latitude, 29°18′31″ E longitude, at 1620 m altitude, and 50% slope) (Figure 2). Crown area (CA) was calculated as the area of a polygon formed by connecting eight points representing the crown projection boundary in the four cardinal and four intercardinal directions.



Figure 2. Sampled area, and some sampled saplings

2.2. Data analysis

The growth performances of the saplings were compared among aspects using analysis of variance (ANOVA) in SPSS [14], based on the following linear model:

$$Y_{ij} = \mu + P_j + e_{ij} \quad (1)$$

Where Y_{ij} is the observation from the i^{th} sapling of the j^{th} aspect, μ is overall mean, P_j is the fixed effect of the j^{th} aspect, and e_{ij} is random error.

Phenotypic correlations (r_p) of Pearson among the characteristics were estimated as [15]:

$$r_p = \frac{COV_{f(x,y)}}{\sqrt{\sigma^2_{f(x)}}\sqrt{\sigma^2_{f(y)}}} \quad (2)$$

Where $COV_{f(xy)}$ is the phenotypic covariance between characteristics x and y, $\sigma^2_{f(x)}$ and $\sigma^2_{f(y)}$ are the phenotypic variances for characteristics x and y, respectively. Regression analysis was also performed between the characteristics.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Characteristics

Growth performances of the aspects varied for the characteristics together with among saplings within aspect (Table 2, Figure 3). Large variations of early reproduction were also reported

among areas and within area in the species [*i.e.*, 7,9,11,12,13]. The results indicated importance of local forestry and selection of mother trees in forestry practices as also emphasized in early studies [*i.e.*, 16,17,18]. However, many biotic and abiotic factors could impact on these variation and performance such as slope, aspect, and mother tree [*i.e.*, 11,12,19].

Table 2. Averages, ranges and coefficient of variations (CV) of the characteristics for the aspects

Aspects*	**N**			**E**			**W**			**S**		
	H (m)	DBH (cm)	CA (m^2)	H (m)	DBH (cm)	CA (m^2)	H (m)	DBH (cm)	CA (m^2)	H (m)	DBH (cm)	CA (m^2)
Mean	9.49^{c}	20.36	54.29^{a}	10.77^{d}	20.54	73.74^{c}	8.38^{b}	20.42	$58.22a^{b}$	7.70^{a}	20.21	60.65^{b}
Minimum	7.60	17.50	35.40	9.40	17.60	57.83	7.00	17.50	42.75	6.50	16.00	44.49
Maks.	10.60	23.10	71.39	12.60	23.50	99.42	9.20	23.10	78.09	9.20	23.30	75.48
CV%	7.74	8.16	15.12	6.73	8.63	13.60	7.02	8.28	12.04	8.83	9.90	12.15

*; The same letters showed not significantly different at $p>0.05$ among the aspects.

East aspect showed the highest performances for averages of height (10.8 m), diameter at breast height (20.5 cm), and crown area (73.7 m^2) (Table 2, Figure 3), together with large variation among saplings within aspect. For instance, height ranged from 7.6 m to 10.6 m at north aspect, and varied between 6.50 m and 9.20 m in south aspect, while crown area showed the largest variation in all aspects based on the coefficients of variation (Table 2).

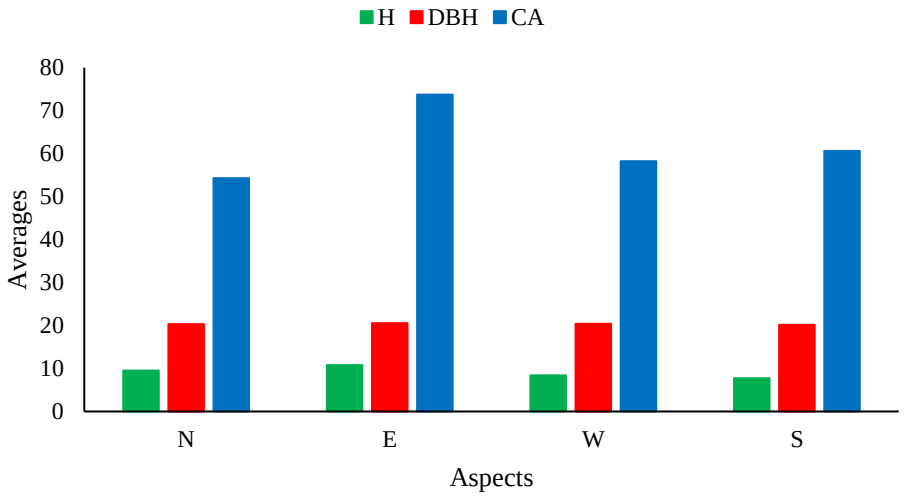


Figure 3. Averages of the characteristics for the aspects

3.2. Variations

According to the results of analysis of variance, there were significant ($p<0.01$) differences among the aspects for height and crown area, while no significant ($p>0.05$) differences were found in diameter at breast height (Table 3). The differences were also reported in early studies

carried out on Anatolian black pine [*i.e.*, 7,11,12,13].

Table 3. Results of analysis of variance for the characteristics

Source of variation	**d.f.**	**H**			**DBH**			**CA**		
		Mean square	F value	p value	Mean square	F value	p value	Mean square	F value	p value
Between Groups	3	54.088	115.660	<0.001	.586	.183	.908	2131.867	31.385	<0.001
Within Groups	116	.468			3.202			67.925		
Total	119									

The observed variation among aspects and saplings within aspects may provide useful information for selection and forestry practices, depending on their objectives.

3.3.Correlations

Results of correlation analysis were given in Table 4. There were no significant ($p>0.05$) correlations among the characteristics at north and east aspects, while there was a positive and significant ($p<0.01$) relationship between height and diameter at breast height at the west aspect, a negative and significant ($p<0.05$) relationship between these characteristics at the south aspect, and a positive and significant ($p<0.01$) relationship between height and crown area across all sampled saplings (Table 4, Figure 4). Similar relations were also reported in early reproductions of the species [i.e., 7,11,12,13]. These relationships could provide useful information for forestry practices such as forest tending.

Table 4. Results of correlation analysis for the aspects

	r^a	**H**	**DBH**
N	**DBH**	$.116^{NS}$	-
E		$-.024^{NS}$	-
W		$.572^{**}$	-
S		$-.374^{*}$	-
Total		$.068^{NS}$	-
N	**CA**	$-.336^{NS}$	$.099^{NS}$
E		$.046^{NS}$	$-.139^{NS}$
W		$.326^{NS}$	$.273^{NS}$
S		$-.225^{NS}$	$.093^{NS}$

Total	.338**	.072NS

[a]; **; correlation is significant at the 0.01 level, *; correlation is significant at the 0.05 level,

NS; correlation is not significant at the 0.05 level.

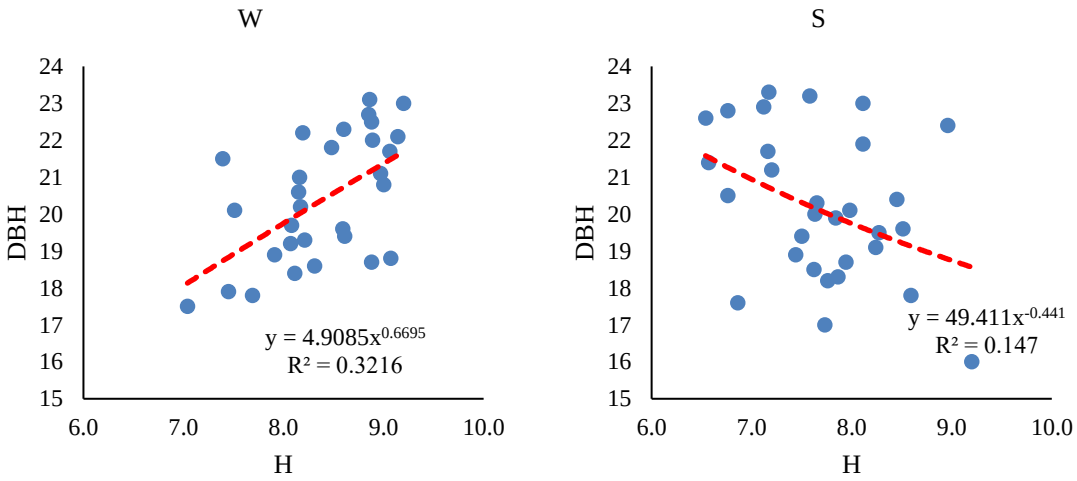


Figure 4. Relationships between height (H) and diameter at breast height (DBH) at west and south aspects.

4. CONCLUSIONS

Aspect may be considered as a criterion in natural regeneration and other potential forestry practices, as emphasized in previous studies. In this study, significant differences were observed among aspects in height and crown area, whereas diameter at breast height did not differ significantly. Further studies should be carried out across different age groups and natural regeneration areas, considering additional characteristics.

REFERENCES

1. Gaussen H, Heywood VH, Chater AO. *Pinus* L. In: Tutin TG, Heywood VH, Burges NA, Valentine DH, Walters SM, Webb DA, editors. *Flora Europaea*. Vol. 1. Cambridge: Cambridge University Press; 1964. p. 32–35.
2. Van Haverbeke DF. *Pinus nigra* Arnold, European black pine. In: Burns RM, Honkala BH, editors. *Silvics of North America*. Vol. 1, Conifers. Washington, DC: USDA Forest Service; 1990. p. 395–404.
3. Saatçioğlu F. *Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri (Silvikültür I)*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi; 1976.
4. Koski V, Antola J. *National Tree Breeding and Seed Production Programme for Turkey 1994–2003*. Ankara: The Research Directorate of Forest Tree Seeds and Tree Breeding; 1993. www.ortohum.gov.tr) (Date of access: 10.09.2026).
5. OGM. *Forestry Statistics 2025*. Ankara: General Directorate of Forestry of Türkiye; 2026. Available from: https://www.ogm.gov.tr (accessed 15 September 2026).
6. Anşin R, Özkan ZC. *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi; 2006.

7. Ertuğrul GS, Bilir N. Kütahya-Simav yöresi Anadolu karaçamı doğal gençleştirme sahasında bazı değerlendirmeler. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. 2020;21(1):75–81. doi:10.17474/artvinofd.615569.

8. Genç M. Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana*) öncü gençliklerinde gelişme özellikleri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 1994;18(6):487–493.

9. Güner ŞT. Afyon Orman İşletme Müdürlüğü Anadolu karaçamı (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) meşcerelerindeki doğal gençleştirme çalışmalarının değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*. 2001;Seri A(2):61–74.

10. Umut B, Dündar M, Çelik O. *İki Tabakalı Karaçam Meşcerelerinde Öncü Gençliklerden Yararlanma İmkanları Üzerine Araştırmalar*. Ankara: Ormancılık Araştırma Enstitüsü; 1996. Teknik Bülten No. 259.

11. Eser Y. Growth performances over a slope range in natural reproductions of Anatolian black pine. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2021;30:10970–10975.

12. Yazıcı N. Effect of crown closure ratios on number and growth reproductions in black pine (*Pinus nigra* Arnold.). *Fresenius Environmental Bulletin*. 2022;31(9):9688–9692.

13. Çerçioğlu M. Some morphological characteristics in reproductions of Anatolian black pine. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. 2026;in press.

14. IBM Corp. *IBM SPSS Statistics for Windows*. Version 20.0. Armonk, NY: IBM Corp.; 2011.

15. Falconer DS. *Introduction to Quantitative Genetics*. 3rd ed. Harlow: Longman Scientific & Technical; 1989.

16. Saatçioğlu F. *Silvikültür Tekniği (Silvikültür II)*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi; 1979.

17. Ata C. *Silvikültür Tekniği Ders Kitabı*. Bartın: Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Bartın Orman Fakültesi; 1995.

18. Odabaşı T, Çalışkan A, Bozkuş HF. *Silvikültür Tekniği (Silvikültür II)*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi; 2007.

19. Yılmaz M, Kalkan M. Application of the seed tree regeneration method in Anatolian black pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*), the case of Tandir-Eskişehir. *Turkish Journal of Forest Science*. 2019;3(1):24–36. doi:10.32328/turkjforsci.544130.

PHYSICOCHEMICAL AND RHEOLOGICAL CHARACTERIZATION OF STABILIZED YOGHURT ENRICHED WITH GERMINATED CHICKPEA FLOUR

Ali Raza[1], Dr. Fatima Noor[2]
[1]University of Agriculture Faisalabad, National Institute of Food Science and Technology, Faisalabad, Pakistan
[2]University of Veterinary and Animal Sciences, Faculty of Animal Production and Technology, Department of Dairy Technology, Lahore, Pakistan

ABSTRACT

Yoghurt is one of the most widely consumed fermented dairy products, appreciated for its sensory qualities and health benefits. However, problems such as syneresis, weak texture and low viscosity can affect its quality and consumer acceptance, and stabilizers are therefore commonly added. At the same time, there is increasing interest in enriching dairy products with plant-based ingredients that can improve both functional and nutritional properties. Chickpea is a nutrient-dense legume rich in protein, dietary fibre, minerals and bioactive compounds, and germination further enhances its nutritional value by increasing protein digestibility and antioxidant compounds while reducing antinutritional factors such as phytates and trypsin inhibitors. This study investigates the physicochemical and rheological characteristics of stabilized yoghurt enriched with germinated chickpea flour. Chickpea seeds were germinated under controlled conditions, dried and milled into flour, which was characterized for its proximate composition and functional properties. Yoghurt samples were prepared with different levels of germinated chickpea flour, with and without a conventional stabilizer, and compared with control yoghurt. During refrigerated storage, the samples were analyzed for pH, titratable acidity, total solids, protein content, syneresis, water holding capacity, color, viable counts of starter cultures and antioxidant activity. Rheological properties were evaluated through flow behavior and viscoelastic measurements, and sensory evaluation was conducted by a trained and experienced panel. The findings show that the addition of germinated chickpea flour increased protein content, total solids and antioxidant activity, reduced syneresis and improved viscosity and gel firmness. Moderate levels of flour produced desirable texture and acceptable sensory scores, while higher levels led to a noticeable legume flavor and darker color. The study concludes that germinated chickpea flour can serve as a natural functional ingredient in yoghurt.

Keywords: Yoghurt, germinated chickpea flour, rheology, syneresis, functional dairy products

INFLUENCE OF FERMENTATION CONDITIONS ON THE PROBIOTIC VIABILITY AND TEXTURE OF TRADITIONAL SERBIAN KAJMAK

Prof. Dr. Nikola Jovanović[1], Jelena Petrović[1], Dr. Marko Nikolić[2]
[1]University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Department of Animal Source Food Technology, Belgrade, Serbia
[2]University of Novi Sad, Faculty of Technology, Department of Food Preservation Engineering, Novi Sad, Serbia

ABSTRACT

Kajmak is a traditional dairy product of Serbia and the wider Balkan region, produced by collecting the fat-rich layer that forms on the surface of heated milk as it cools, followed by salting and ripening. It is valued for its creamy texture, rich flavor and cultural significance, and it is still largely produced on small farms using artisanal methods. The spontaneous fermentation that occurs during ripening is driven by indigenous lactic acid bacteria, which contribute to flavor development and may offer health benefits. However, traditional production often results in variable quality and limited shelf life, and the potential of kajmak as a carrier of probiotic bacteria has received relatively little attention. This study investigates the influence of fermentation conditions on the probiotic viability and texture of traditional Serbian kajmak. Kajmak was produced under controlled conditions and inoculated with selected probiotic strains of Lactobacillus and Bifidobacterium, either alone or in combination with autochthonous lactic acid bacteria isolated from artisanal kajmak. Fermentation and ripening were carried out at different temperatures, salt concentrations and ripening periods. Samples were analyzed for pH, titratable acidity, fat and moisture content, lipolysis and proteolysis, viable counts of probiotic and lactic acid bacteria, and textural properties including firmness, spreadability and adhesiveness. Sensory evaluation was also performed. The findings show that moderate ripening temperatures and lower salt concentrations favored the survival of probiotic bacteria, which remained at levels considered sufficient for health benefits throughout storage. Combining probiotics with autochthonous cultures improved flavor and textural uniformity. Excessive salt reduced probiotic viability, while extended ripening increased firmness and flavor intensity. The study concludes that controlled fermentation can enhance the quality and functional value of kajmak.

Keywords: Kajmak, probiotics, fermentation, traditional dairy products, texture

SEDANTER OFİS ÇALIŞANLARINDA DİRENÇ ANTRENMANININ KAS-İSKELET VE KARDİYOMETABOLİK SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ: GÜNCEL KANITLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. UMUT CANLI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, ucanli@nku.edu.tr - 0000-0001-8603-3492

ÖZET

Sedanter davranış, özellikle masa başında çalışan yetişkinlerde günlük yaşamın önemli bir bölümünü oluşturmakta ve kas-iskelet sistemi sorunları ile kardiyometabolik sağlık risklerinin artmasıyla ilişkilendirilmektedir. Direnç antrenmanı, kas kuvvetinin geliştirilmesinin yanı sıra uzun süreli oturmanın neden olabileceği sağlık sorunlarının azaltılmasında uygulanabilir bir egzersiz yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır. Bu anlatı derlemesinin amacı, Chandrasekaran ve arkadaşlarının sedanter ofis çalışanlarında direnç antrenmanını inceleyen sistematik derleme ve meta-analizini temel alarak kas-iskelet, kardiyometabolik ve psikolojik sonuçlara ilişkin kanıtları değerlendirmek ve 2025-2026 döneminde yayımlanan güncel literatürle konuyu genişletmektir. Temel derlemede 17 çalışma nitel senteze, 16 çalışma meta-analize dahil edilmiş ve toplam 2.607 ofis çalışanı değerlendirilmiştir. Direnç antrenmanı boyun ve omuz rahatsızlığında azalma ile özellikle boyun ekstansör ve omuz kas kuvvetinde artışla ilişkili bulunmuştur. Buna karşılık beden kütle indeksi, bel-kalça oranı, aerobik kapasite, sistolik kan basıncı ve ruh sağlığı göstergelerinde tutarlı bir iyileşme gösterilememiştir. Bununla birlikte 2025 tarihli 51 randomize kontrollü çalışmayı ve 2.201 sedanter yetişkini içeren bir network meta-analizi, egzersiz türlerinin hedeflenen sağlık çıktısına göre farklı etkiler oluşturabileceğini; 2026 tarihli güncel bir derleme ise direnç antrenmanının vasküler fonksiyon, metabolik düzenleme, otonomik kontrol ve fonksiyonel kapasite üzerinden sedanter yaşamla ilişkili kardiyovasküler riske karşı tamamlayıcı bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak direnç antrenmanı, sedanter yetişkinlerde özellikle kas kuvveti ve kas-iskelet sağlığı açısından güçlü bir uygulama gerekçesine sahiptir; ancak kardiyometabolik ve psikolojik etkilerin büyüklüğünü belirlemek için daha standartlaştırılmış, yüksek kaliteli ve uzun süreli randomize kontrollü çalışmalara gereksinim vardır.

Anahtar kelimeler: Sedanter davranış, direnç antrenmanı, ofis çalışanları, kas kuvveti, kas-iskelet sağlığı, kardiyometabolik sağlık

1. GİRİŞ

Sedanter davranış, uyanık olunan sürede oturma, yaslanma veya uzanma pozisyonunda ≤1,5 metabolik eşdeğer enerji harcamasıyla gerçekleşen davranışları ifade etmektedir. Modern çalışma yaşamında bilgisayar temelli görevlerin yaygınlaşması, ulaşım biçimleri ve ekran kullanımındaki artış, yetişkinlerin günün önemli bir bölümünü düşük enerji harcamasıyla geçirmesine yol açmaktadır. Sedanter davranış fiziksel inaktivite ile aynı kavram değildir; bir birey haftalık fiziksel aktivite önerilerini karşılıyor olsa bile gün içinde uzun süre oturabilir. Bu ayrım, özellikle ofis çalışanlarının sağlık risklerinin değerlendirilmesinde önem taşımaktadır [1,2].

Uzun süreli oturma; statik kas postürleri, düşük kas aktivitesi, azalmış enerji harcaması ve hareket çeşitliliğinin sınırlanması nedeniyle kas-iskelet sistemi açısından dezavantaj oluşturabilir. Boyun, omuz ve bel bölgesindeki rahatsızlıkların masa başı çalışanlarda sık görülmesi, iş yeri temelli hareket ve egzersiz müdahalelerine ilgiyi artırmıştır. Bunun yanında sedanter sürenin kardiyovasküler

hastalık ve metabolik riskle ilişkili olması, yalnızca aerobik egzersizin değil, iskelet kasını doğrudan hedefleyen direnç antrenmanının da koruyucu rolünün araştırılmasına neden olmuştur [1,3].

Direnç antrenmanı, kasın dış bir dirence karşı kuvvet üretmesini gerektiren ve yükün bireyin kapasitesine göre ilerletilebildiği egzersizleri kapsamaktadır. Serbest ağırlıklar, makineler, elastik bantlar ve vücut ağırlığı egzersizleri bu kapsamda kullanılabilir. Direnç antrenmanının temel çıktısı kas kuvvetindeki artış olmakla birlikte, kas kütlesi, fonksiyonel kapasite, glukoz metabolizması, vasküler yanıtlar ve günlük yaşam aktivitelerini sürdürme kapasitesi üzerinde de etkileri bulunmaktadır [1,3].

Chandrasekaran ve arkadaşlarının 2025 yılında çevrimiçi yayımlanan ve 2026 cildinde yer alan sistematik derleme ve meta-analizi, sedanter ofis çalışanlarında direnç antrenmanının bağımsız etkilerini değerlendiren en güncel kapsamlı çalışmalardan biridir [1]. Bu tam metin bildirinin amacı, söz konusu derlemeyi temel alarak sedanter ofis çalışanlarında direnç antrenmanının kas-iskelet, kardiyometabolik ve psikolojik sağlık açısından önemini tartışmak; 2025-2026 döneminde yayımlanan seçilmiş güncel çalışmalarla bulguları genişletmek ve uygulamaya yönelik çıkarımlar sunmaktır.

2. SEDANTER DAVRANIŞ VE SAĞLIK RİSKİ

Sedanter yaşamın sağlık üzerindeki etkisi yalnızca harcanan enerjinin azalmasıyla açıklanamaz. Uzun süreli kas inaktivitesi, alt ekstremite kas pompasının ve lokal kan akımının azalması, glukoz ve lipid metabolizmasının olumsuz etkilenmesi ve vasküler fonksiyondaki değişiklikler gibi çok sayıda mekanizma birlikte rol oynayabilir. Johnson'ın 2026 tarihli güncel derlemesi, 2018-2025 arasındaki epidemiyolojik ve mekanistik kanıtların uzun süreli sedanter zaman ile kardiyovasküler morbidite ve mortalite arasında ilişki gösterdiğini; bu ilişkinin orta-yüksek şiddetli fiziksel aktivite dikkate alındığında dahi tamamen ortadan kalkmadığını vurgulamaktadır [3].

Ofis çalışanlarında sorun yalnızca toplam oturma süresi değildir. Aynı pozisyonda uzun süre kalma, tekrarlayan düşük düzeyli kas aktivasyonu ve iş istasyonunun ergonomik özellikleri özellikle boyun-omuz kuşağında rahatsızlık gelişimine katkıda bulunabilir. Bu nedenle sedanter davranışın azaltılması ile kas kuvvetinin geliştirilmesi birbirinin alternatifi değil, tamamlayıcısı olarak ele alınmalıdır. Gün içinde oturmanın sık aralıklarla bölünmesi hareket maruziyetini artırırken, düzenli direnç antrenmanı dokuların yük taşıma kapasitesini ve fonksiyonel rezervi geliştirebilir [1,3].

Bu yaklaşımın önemli bir sonucu, 'egzersiz yapan' ve 'sedanter' kavramlarının birbirini dışlamadığının kabul edilmesidir. Haftada birkaç kez egzersiz yapan ancak çalışma gününün büyük bölümünü oturarak geçiren bir yetişkin, hem yapılandırılmış egzersiz hem de günlük sedanter sürenin azaltılması açısından değerlendirilmelidir. Dolayısıyla iş yeri sağlığı stratejileri, yalnızca haftalık egzersiz önerisi vermek yerine çalışma gününün hareket kompozisyonunu da dikkate almalıdır.

3. KAS-İSKELET SAĞLIĞI VE KAS KUVVETİ

Chandrasekaran ve arkadaşlarının derlemesinde 17 çalışmadan toplam 2.607 ofis çalışanı yer almış, ortalama yaş yaklaşık 44 yıl ve ortalama beden kütle indeksi 24,74 kg/m² olarak bildirilmiştir. Katılımcıların %72'si kadındır. Çalışmaların önemli bölümü boyun, omuz veya sırt ağrısı bulunan ofis çalışanlarında yürütülmüştür. Müdahaleler çoğunlukla vücut ağırlığı, dambıl ve elastik bantlarla boyun-omuz bölgesine özgü kuvvetlendirme programlarından oluşmuştur [1].

Meta-analizde boyun rahatsızlığında anlamlı azalma (SMD=-1,76; %95 GA=-2,46 ile -1,06; I^2=%88; $p<0,00001$) ve omuz rahatsızlığında daha büyük bir azalma (SMD=-13,29; %95 GA=-15,87 ile -10,71; I^2=%91; $p<0,00001$) bildirilmiştir [1]. Bu sonuçlar direnç antrenmanının özellikle masa başı çalışmada yüksek yük alan boyun-omuz bölgesinde semptom yönetimine katkı sağlayabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte heterojenliğin yüksek olması, etki büyüklüklerinin farklı

programlar ve ölçüm yöntemlerinden türetilmiş olması nedeniyle sonuçların dikkatli yorumlanmasını gerektirir.

Kas kuvveti açısından havuzlanmış analiz direnç antrenmanı lehine anlamlı bir gelişme göstermiştir (SMD=2,73; %95 GA=2,56-2,91; I^2=%99; p<0,00001). Bölgesel değerlendirmelerde boyun ekstansör kuvveti (SMD=9,07; I^2=%9; p<0,00001), omuz kuvveti (SMD=4,13; I^2=%99; p=0,03) ve sırt ekstansör kuvvetinde anlamlı artışlar bildirilmiştir [1]. Diz ekstansör/fleksör ve el kavrama kuvvetindeki sonuçlar ise daha az tutarlıdır.

Kas kuvvetindeki artışın sedanter bireyler için önemi yalnızca performansla sınırlı değildir. Daha yüksek kuvvet düzeyi günlük görevlerin daha düşük göreli eforla gerçekleştirilmesine, postüral kontrolün desteklenmesine ve hareket kapasitesinin korunmasına katkıda bulunabilir. Bu nedenle direnç antrenmanı sedanter yetişkinlerde 'spor performansı' odaklı bir uygulama değil, fonksiyonel kapasiteyi koruyan temel bir sağlık davranışı olarak değerlendirilmelidir.

4. KARDİYOMETABOLİK SAĞLIK: KANITLAR NEDEN DAHA KARMAŞIK?

Kas-iskelet sonuçlarıyla karşılaştırıldığında kardiyometabolik sonuçlar daha heterojendir. Chandrasekaran ve arkadaşlarının derlemesinde dört çalışmadan 1.258 katılımcının metabolik risk göstergeleri havuzlandığında birleşik sonuç direnç antrenmanı lehine görünmekle birlikte, bireysel değişkenlerde aynı tutarlılık gözlenmemiştir. Vücut yağ yüzdesinde azalma bildirilirken beden kütle indeksi, bel-kalça oranı, aerobik kapasite ve sistolik kan basıncında anlamlı değişiklik gösterilememiştir [1].

Bu bulgu direnç antrenmanının kardiyometabolik açıdan etkisiz olduğu anlamına gelmemelidir. Ofis çalışanlarına özgü derlemede çalışma sayısı az, müdahale dozları ve süreleri farklı, birçok program boyun-omuz semptomlarını azaltmak amacıyla tasarlanmış ve metabolik değişim oluşturacak toplam kas kütlesi veya egzersiz hacmi her zaman hedeflenmemiştir. Bu nedenle müdahalenin amacı ile değerlendirilen metabolik sonuç arasında uyumsuzluk bulunabilir.

Huang ve arkadaşlarının 2025 tarihli sistematik derleme ve network meta-analizi bu noktada daha geniş bir perspektif sunmaktadır [4]. Sedanter yetişkinlerde 51 randomize kontrollü çalışma ve 2.201 katılımcının değerlendirildiği analizde aerobik antrenman vücut yağ yüzdesinin azaltılmasında en yüksek sıralamayı alırken, kuvvet antrenmanı VO_2max gelişiminde yüksek etkililik göstermiştir. Bulgular, sedanter popülasyonda tek bir egzersiz türünün bütün sağlık çıktıları için 'en iyi' olmadığını; egzersiz reçetesinin hedeflenen sonuca göre yapılandırılması gerektiğini göstermektedir [4].

Johnson'ın 2026 derlemesi ise direnç antrenmanının vasküler fonksiyon, kan basıncı düzenlenmesi, insülin duyarlılığı, lipid metabolizması, inflamatuvar sinyalleme ve otonomik düzenleme gibi mekanizmalar üzerinden kardiyovasküler korumaya katkı sağlayabileceğini belirtmektedir [3]. Bu mekanistik çerçeve, özellikle sedanter davranışın yüksek olduğu yetişkinlerde direnç antrenmanının aerobik egzersizin alternatifi değil, tamamlayıcı bir bileşeni olarak ele alınmasını desteklemektedir.

5. PSİKOLOJİK SAĞLIK VE İŞLEVSELLİK

Sedanter çalışma düzeni, fiziksel rahatsızlığın yanında stres, yorgunluk, uykululuk ve psikolojik iyi oluşla ilişkili sorunlarla da birlikte görülebilir. Bununla birlikte direnç antrenmanının ofis çalışanlarındaki psikolojik etkilerine ilişkin doğrudan kanıt henüz sınırlıdır. Chandrasekaran ve arkadaşlarının derlemesinde anksiyete, depresyon ve stres gibi sonuçları değerlendiren çalışma sayısı azdır ve havuzlanmış sonuçlar ruh sağlığı risk belirteçlerinde tutarlı değişim göstermemiştir [1].

Bu sınırlılık, psikolojik yararların bulunmadığını değil, ofis çalışanlarında bu sonuçları birincil hedef olarak değerlendiren yeterli sayıda ve yeterli güçte çalışma olmadığını göstermektedir. Ayrıca egzersizin psikolojik etkileri programın sosyal bağlamı, gözetim, katılım oranı, başlangıç semptom düzeyi ve egzersizden alınan haz gibi değişkenlerden etkilenebilir. Bu nedenle gelecekteki iş yeri

çalışmalarında kas-iskelet ve metabolik sonuçların yanında iyi oluş, algılanan stres, uyku, öz-yeterlik ve işlevsellik gibi sonuçların standart araçlarla izlenmesi yararlı olacaktır.

6. DİRENÇ ANTRENMANININ İŞ YERİNE UYARLANMASI

Direnç antrenmanının önemli avantajlarından biri, pahalı ekipman veya geniş alan gerektirmeden farklı ortamlara uyarlanabilmesidir. İncelenen çalışmalarda vücut ağırlığı, elastik bant, dambıl, TRX ve spor salonu ekipmanları kullanılmış; bazı araştırmalarda ise uzun oturma dönemlerini bölmek için kısa 'egzersiz atıştırmaları' uygulanmıştır [1]. Bu esneklik, direnç antrenmanını masa başı çalışanlar için uygulanabilir bir iş yeri sağlığı stratejisi haline getirmektedir.

Tablo 1. Sedanter ofis çalışanlarında direnç antrenmanına ilişkin uygulama çerçevesi

Bileşen	Literatürde kullanılan yaklaşım	Uygulamaya yönelik değerlendirme
Sıklık	Haftada 2-3 seans; bazı iş yeri çalışmalarında gün içine yayılan kısa egzersiz molaları	Başlangıç düzeyi ve toplam haftalık yük dikkate alınmalı.
Şiddet	Yaklaşık 8-20 RM; %60-80 MVC; bazı çalışmalarda RPE 5-7/10	Teknik yeterlik korunmalı ve yük kademeli artırılmalı.
Hacim	Çoğunlukla 2-3 set, 8-15 tekrar	Büyük kas grupları ile boyun-omuz gibi iş yüküne özgü bölgeler dengelenebilir.
Araçlar	Vücut ağırlığı, elastik bant, dambıl, serbest ağırlık, makineler	İş yerinde uygulanabilirlik ve güvenlik öncelikli olmalı.
Süre	Çalışmalarda kısa egzersiz molalarından 20-60 dk'lık seanslara kadar değişken	Program süresi ve seans süresi hedeflenen sonuca göre belirlenmeli.
Progresyon	Direncin veya tekrar zorluğunun kademeli artırılması	Sabit yük yerine bireysel ilerleme izlenmeli.

Tablo 1, Chandrasekaran ve arkadaşlarının derlemesinde bildirilen uygulamalardan türetilmiş pratik bir çerçevedir; klinik veya bireysel egzersiz reçetesi olarak değerlendirilmemelidir [1]. Özellikle hipertansiyon, kardiyovasküler hastalık, ciddi kas-iskelet sorunu veya egzersizle ilişkili semptomları bulunan bireylerde program öncesi uygun sağlık değerlendirmesi yapılmalıdır.

Program tasarımında yalnızca boyun ve omuz kaslarını hedeflemek yerine, bireyin genel kuvvet düzeyi ve günlük işlevleri de dikkate alınmalıdır. Squat/otur-kalk, itme, çekme, kalça dominant hareketler, baldır yükseltme ve gövde stabilizasyonu gibi temel örüntüler düşük ekipman gereksinimiyle uygulanabilir. Masa başı çalışmaya bağlı lokal yakınmalar varsa, bu genel program boyun-omuz kuşağına özgü uygun egzersizlerle desteklenebilir.

Uyum, iş yeri müdahalelerinin başarısında belirleyicidir. Derlemede bazı programlarda yüksek başlangıç uyumu görülmesine karşın ilerleyen haftalarda bırakma oranlarının arttığı bildirilmiştir [1]. Bu nedenle kısa, uygulanabilir, çalışma akışını aşırı bozmayan ve bireyin ilerlemesini görünür kılan programlar uzun dönem sürdürülebilirlik açısından avantaj sağlayabilir.

7. GÜNCEL KANITLARIN BİRLİKTE YORUMLANMASI

Mevcut kanıtlar birlikte değerlendirildiğinde sedanter bireylerde direnç antrenmanının en tutarlı yarar alanı kas kuvveti ve kas-iskelet sistemi olarak görünmektedir. Ofis çalışanlarına özgü meta-analizde boyun ve omuz rahatsızlığındaki azalma ile bölgesel kuvvet artışları bu sonucu

desteklemektedir [1]. Bununla birlikte kanıt kesinliğinin düşük olması, 'direnç antrenmanı bütün ofis çalışanlarında ağrıyı azaltır' şeklinde kesin bir genelleme yapılmasını engellemektedir.

Kardiyometabolik sağlık açısından daha geniş sedanter yetişkin literatürü, ofis çalışanlarına özgü kanıttan daha olumlu bir tablo sunmaktadır. Huang ve arkadaşlarının network meta-analizi egzersiz modaliteleri arasında hedefe özgü farklılıklar olduğunu gösterirken [4], Johnson direnç antrenmanının kardiyovasküler risk yollarını etkileyebilecek mekanistik ve klinik gerekçelerini ortaya koymaktadır [3]. Bu nedenle direnç antrenmanını aerobik egzersizle rekabet eden bir yöntem olarak değil, farklı fizyolojik hedefleri tamamlayan bir bileşen olarak değerlendirmek daha uygundur.

Sedanter davranışın kendisi de ayrı bir müdahale hedefidir. Haftada iki veya üç direnç antrenmanı seansı yapmak, gün boyunca kesintisiz oturmanın olası etkilerini tamamen ortadan kaldırdığı şeklinde yorumlanmamalıdır. En bütüncül yaklaşım; düzenli direnç antrenmanı, aerobik fiziksel aktivite ve uzun oturma dönemlerinin hareket molalarıyla bölünmesini birlikte içeren bir hareket stratejisidir [2,3].

Bilimsel açıdan önemli bir diğer nokta, mevcut çalışmaların doz, egzersiz türü, başlangıç aktivite düzeyi ve sonuç ölçümleri bakımından heterojen olmasıdır. Gelecekteki araştırmalarda sedanterliğin cihazla ölçülmesi, direnç antrenmanı dozunun açık biçimde raporlanması, progresyonun standardize edilmesi, uyumun izlenmesi ve kas kuvvetiyle birlikte vasküler, metabolik ve psikolojik sonuçların aynı protokol içinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

8. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Sedanter ofis çalışanlarında direnç antrenmanı, özellikle kas kuvvetini artırma ve boyun-omuz bölgesindeki kas-iskelet rahatsızlıklarını azaltma açısından uygulanabilir ve bilimsel olarak desteklenen bir yaklaşım olarak görünmektedir. Chandrasekaran ve arkadaşlarının sistematik derleme ve meta-analizi, bu popülasyonda direnç antrenmanının bağımsız etkilerine ilişkin önemli bir sentez sunmakta; ancak yüksek heterojenlik ve yanlılık riski nedeniyle kanıt kesinliğinin düşük olduğunu göstermektedir [1].

2025-2026 dönemindeki daha geniş güncel literatür, direnç antrenmanının sedanter yetişkinlerdeki rolünü yalnızca kas kuvvetiyle sınırlandırmamak gerektiğine işaret etmektedir. Egzersiz modalitesine göre vücut kompozisyonu ve kardiyorespiratuvar uygunluk yanıtları değişebilmekte [4]; vasküler fonksiyon, metabolik düzenleme, otonomik kontrol ve fonksiyonel kapasite direnç antrenmanının kardiyovasküler korumaya katkı sağlayabileceği başlıca yollar arasında gösterilmektedir [3].

Sonuç olarak sedanter yetişkinler için egzersiz yaklaşımı 'aerobik veya kuvvet' ikilemi üzerinden değil, günlük sedanter sürenin azaltıldığı ve hem aerobik hem de direnç egzersizinin bireysel gereksinimlere göre bütünleştirildiği bir model üzerinden ele alınmalıdır. Direnç antrenmanı bu modelin temel bileşenlerinden biridir. Bununla birlikte optimal dozun, farklı yaş ve risk gruplarındaki kardiyometabolik etkilerin ve uzun dönem sürdürülebilirliğin belirlenebilmesi için daha yüksek kaliteli randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

[1] Chandrasekaran, B., Bairapareddy, K. C. ve Rao, C. R., Resistance Exercise Training on Musculoskeletal, Metabolic and Psychological Health in Sedentary Office Workers – Systematic Review and Meta-analysis, Journal of Occupational Rehabilitation, 36, 23-42, 2026 (çevrimiçi yayın: 14 Şubat 2025). doi:10.1007/s10926-025-10273-8.

[2] Tremblay, M. S., Aubert, S., Barnes, J. D. ve ark., Sedentary Behavior Research Network (SBRN) – Terminology Consensus Project process and outcome, International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 14, 75, 2017. doi:10.1186/s12966-017-0525-8.

[3] Johnson, M. A., Breaking the Sedentary Cycle: The Role of Resistance Training in Cardiovascular Health and Disease Prevention, Current Epidemiology Reports, 13, 10, 2026. doi:10.1007/s40471-026-00390-0.

[4] Huang, X. ve ark., Effects of exercise on body fat percentage and cardiorespiratory fitness in sedentary adults: a systematic review and network meta-analysis, Frontiers in Public Health, 13, 1624562, 2025. doi:10.3389/fpubh.2025.1624562.

[5] Granacher, U., Wick, C., Rueck, N., Esposito, C., Roth, R. ve Zahner, L., Promoting balance and strength in the middle-aged workforce, International Journal of Sports Medicine, 32(1), 35-44, 2011.

[6] Saeterbakken, A. H., Makrygiannis, P., Stien, N., Solstad, T. E. J., Shaw, M. ve Andersen, V., Dose-response of resistance training for neck- and shoulder pain relief: a workplace intervention study, BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, 12, 8, 2020.

[7] Dalager, T., Welch, A., O'Leary, S. P., Johnston, V. ve Sjøgaard, G., Clinically relevant decreases in neck/shoulder pain among office workers are associated with strength training adherence and exercise compliance, Physical Therapy, 103(2), pzac166, 2023.

[8] Rogers, E. M., Banks, N. F., Trachta, E. R., Barone Gibbs, B., Carr, L. J. ve Jenkins, N. D. M., Acceptability of performing resistance exercise breaks in the workplace to break up prolonged sedentary time, Workplace Health & Safety, 72(6), 234-243, 2024.

GENÇ SPORCULARDA UZUN VADELİ SPORTİF GELİŞİM İÇİN KUVVET VE KONDİSYON ANTRENMANI: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Prof. Dr. UMUT CANLI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, ucanli@nku.edu.tr - 0000-0001-8603-3492

ÖZET

Çocuk ve gençlerin organize sporlara katılımının artması, performans gelişiminin yanında güvenli, gelişim düzeyine uygun ve uzun vadeli antrenman modellerinin önemini artırmaktadır. Bu anlatı derlemesinin amacı, Long ve arkadaşlarının 2024 yılında yayımlanan genç sporcularda kuvvet ve kondisyon antrenmanına ilişkin derlemesini temel alarak, genç sporcularda uzun vadeli sportif gelişimi destekleyen güncel antrenman ilkelerini değerlendirmek ve 2025-2026 yıllarında yayımlanan seçilmiş güncel kanıtlarla konuyu genişletmektir. Mevcut literatür, uygun öğretim, nitelikli gözetim ve gelişim düzeyine uygun programlama sağlandığında direnç antrenmanının çocuk ve ergenlerde güvenli ve etkili biçimde uygulanabileceğini göstermektedir. Programlama yalnızca kronolojik yaşa dayandırılmamalı; biyolojik olgunlaşma, bilişsel gelişim, antrenman deneyimi, spor yükü ve bireysel hazır oluş birlikte değerlendirilmelidir. Erken yaşlarda oyun temelli hareketler ve vücut ağırlığı egzersizleri öncelik kazanırken, ilerleyen gelişim dönemlerinde direnç bantları, serbest ağırlıklar, pliometrik uygulamalar ve daha yapılandırılmış kuvvet-güç çalışmaları kademeli olarak kullanılabilir. Güncel meta-analizler, direnç antrenmanının gençlerde kas kütlesinde gelişim sağlayabildiğini; pliometrik antrenmanın sıçrama, sprint ve çeviklik performansını geliştirdiğini ve bu yanıtların olgunlaşma düzeyinden etkilenebildiğini göstermektedir. Ayrıca nöromüsküler ısınma ve antrenman stratejilerinin genç sporcularda yaralanma riskini azaltabileceğine ilişkin kanıtlar güçlenmektedir. Sonuç olarak, genç sporcularda uzun vadeli sportif gelişim; kuvvet, güç, sürat, koordinasyon ve hareket becerilerini bütünleştiren, yüklenme-toparlanma dengesini gözeten ve biyolojik gelişime göre uyarlanan çok bileşenli bir yaklaşım gerektirmektedir.

Anahtar kelimeler: Genç sporcu, kuvvet ve kondisyon, direnç antrenmanı, pliometrik antrenman, olgunlaşma, uzun vadeli sportif gelişim

1. GİRİŞ

Çocukluk ve ergenlik döneminde spora katılım; fiziksel uygunluk, motor yeterlik, kemik-kas sağlığı ve psikososyal gelişim açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bununla birlikte genç sporcular, büyüme ve olgunlaşmanın devam ettiği bir dönemde antrenman ve müsabaka yüklerine maruz kalmaktadır. Bu nedenle yetişkin sporcular için geliştirilen antrenman modellerinin doğrudan çocuklara aktarılması uygun değildir. Genç sporcunun antrenmanı, performansı kısa sürede en üst düzeye çıkarmaktan çok, hareket becerilerini geliştiren, yaralanma riskini azaltan, spora katılımı sürdürülebilir kılan ve ileriki yıllardaki yüksek performans kapasitesine temel oluşturan uzun vadeli bir süreç olarak ele alınmalıdır [1].

Long ve arkadaşları, genç sporcularda kuvvet ve kondisyon uygulamalarını güvenlik, gelişimsel uygunluk ve uzun vadeli sportif gelişim çerçevesinde değerlendirmiştir [1]. Bu yaklaşımda direnç antrenmanı yalnızca ağırlık kaldırma olarak görülmemekte; vücut ağırlığı egzersizleri, direnç bantları, sağlık topları, serbest ağırlıklar, çeviklik, pliometrik egzersizler ve kardiyovasküler çalışmalar geniş bir kuvvet ve kondisyon sistemi içinde ele alınmaktadır. Programın başarısı ise seçilen egzersizlerden önce sporcunun yaşının, olgunlaşma düzeyinin, bilişsel kapasitesinin, ergenlik durumunun, spor yükünün ve hazır oluşunun doğru değerlendirilmesine bağlıdır.

Gençlerde direnç antrenmanına ilişkin eski çekincelerin önemli bir bölümü büyümenin olumsuz etkilenmesi, büyüme plağı yaralanmaları veya çocukların ağırlık antrenmanından yeterli yarar sağlayamayacağı düşüncesine dayanmaktadır. Buna karşın güncel yaklaşım, uygun teknik, ilerleyici

yüklenme ve nitelikli gözetim sağlandığında direnç antrenmanının çocuk ve ergenlerde güvenli ve yararlı olabileceği yönündedir [1,2]. 2026 yılında yayımlanan kapsamlı bir sistematik derleme ve meta-analiz de direnç antrenmanının çocuk ve ergenlerde kas kütlesinde artış sağlayabildiğini ve morfolojik yanıtların farklı olgunlaşma dönemlerinde görülebildiğini ortaya koymuştur [10].

Bu tam metin bildirinin amacı, Long ve arkadaşlarının derlemesinde ortaya konan temel çerçeveyi [1] güncel literatür ışığında yeniden ele almak; genç sporcularda direnç antrenmanı, pliometri ve sürat, nöromüsküler gelişim, güvenlik, yaralanmaların önlenmesi, ısınma ve toparlanma bileşenlerini uzun vadeli sportif gelişim perspektifinden tartışmaktır. Long ve arkadaşlarının 2024 tarihli çalışması temel kaynak olarak kullanılmış; 2025 ve 2026 yıllarında yayımlanan seçilmiş sistematik derleme ve meta-analizler, güncel kanıtların çerçeveye nasıl katkı sağladığını göstermek amacıyla eklenmiştir [9-13].

2. GELİŞİMSEL ÖZELLİKLER VE ANTRENMANIN BİREYSELLEŞTİRİLMESİ

Genç sporcularda programlama yapılırken kronolojik yaş yararlı bir başlangıç bilgisi olmakla birlikte tek başına yeterli değildir. Aynı yaşta iki sporcunun biyolojik olgunlaşması, vücut boyutları, nöromüsküler kontrolü, antrenman deneyimi ve yönergeleri anlama kapasitesi belirgin biçimde farklı olabilir. Long ve arkadaşları, altı yaşındaki bir çocuk ile 17 yaşındaki bir gencin yalnızca fiziksel boyut açısından değil, iletişim, geri bildirime yanıt ve bilişsel olgunlaşma açısından da farklı olduğunu vurgulamaktadır [1]. Bu nedenle egzersiz seçimi ve antrenörün kullandığı öğretim dili gelişim düzeyine göre uyarlanmalıdır.

Erken çocukluk döneminde amaç, yüksek dış yüklerden çok temel hareket örüntülerinin kazanılmasıdır. Hayvan taklitleri, oyunlar, sıçrama, koşma, itme, çekme, çömelme ve denge görevleri çocuğun hareket repertuvarını genişletebilir. Long ve arkadaşlarının yaşa göre programlama tablosunda 2-6 yaş için vücut ağırlığı ve oyun temelli etkinlikler; 7-9 yaş için vücut ağırlığı ve izometrik uygulamalar; 10-11 yaş için bantlar, ağırlıklar ve sağlık topları; 12-18 yaş için ise daha ağır yükler ve daha yapılandırılmış kuvvet-güç uygulamaları önerilmektedir [1]. Bu sınıflandırma kesin yaş sınırları olarak değil, gelişimsel ilerleme için pratik bir rehber olarak değerlendirilmelidir.

Biyolojik olgunlaşmanın özellikle kuvvet ve güç adaptasyonlarının yorumlanmasında dikkate alınması gerekir. Çocukluk dönemindeki kuvvet artışlarında sinirsel ve koordinatif mekanizmalar önemli rol oynarken, puberteyle birlikte morfolojik adaptasyonların katkısı artabilir. Komm ve arkadaşlarının 2026 meta-analizinde 23 çalışma ve 1443 katılımcı değerlendirilmiş; direnç antrenmanının pasif kontrollerle karşılaştırıldığında kas kütlesinde küçük fakat anlamlı bir artış oluşturduğu bildirilmiştir [10]. Bulgular, hipertrofinin yalnızca postpubertal döneme özgü olmadığını, farklı gelişim evrelerinde ortaya çıkabildiğini; ancak yanıtın olgunlaşma ve karşılaştırma grubunun niteliğine göre değişebildiğini göstermektedir.

Bu nedenle genç sporcuda antrenman reçetesi 'yaşa göre tek program' yaklaşımından uzaklaşmalıdır. Teknik yeterlik, hareket kalitesi, algılanan efor, antrenman geçmişi, büyüme hızı, toparlanma durumu ve spora özgü toplam yük birlikte değerlendirilmelidir. Amaç, sporcuyu mümkün olan en yüksek yüke en kısa sürede ulaştırmak değil; uygun hareket kalitesini koruyarak giderek daha karmaşık ve daha yüksek yük gerektiren görevlere hazırlamaktır.

3. DİRENÇ ANTRENMANI VE KUVVET GELİŞİMİ

Direnç antrenmanı, genç sporcuların kuvvet ve kondisyon gelişiminin temel bileşenlerinden biridir. Vücut ağırlığı, izometrik egzersizler, direnç bantları, sağlık topları, makineler ve serbest ağırlıklar yaşa ve deneyime göre kullanılabilir. Çömelme, hamle, şınav, çekme ve gövde stabilizasyonu gibi temel hareket örüntüleri, özel ekipman gerektirmeden kuvvet gelişimi için başlangıç oluşturabilir [1]. Teknik yeterlik geliştikçe dış direnç kademeli olarak artırılabilir.

Çocuklarda kuvvet gelişimi yalnızca kas kütlesindeki artışla açıklanamaz. Özellikle prepubertal dönemde motor birim katılımı, ateşleme özellikleri, koordinasyon ve hareket verimliliğindeki gelişmeler önemli adaptasyon mekanizmalarıdır [2,3]. Long ve arkadaşları izometrik egzersizlerin daha az deneyimli çocuklarda doğru pozisyonun öğrenilmesi ve sinirsel uyumun desteklenmesi açısından kullanılabileceğini

belirtmektedir [1]. Bununla birlikte kuvvet antrenmanının ilerleyen dönemlerinde dinamik ve çok eklemli hareketlere geçiş, sportif hareketlere aktarım açısından önem taşır.

2025 yılında Enomoto ve Tottori tarafından yayımlanan scoping review, direnç antrenmanı ve spor katılımına bağlı kas morfolojisi çalışmalarını haritalamış ve 29 çalışmayı değerlendirmiştir [9]. Literatürde yaş grupları, ölçüm yöntemleri ve antrenman protokolleri bakımından belirgin heterojenlik bulunması, gençlerde kas gelişiminin tek bir modelle açıklanmasını güçleştirmektedir. Bununla birlikte 2026 meta-analizinin bulguları, direnç antrenmanının gençlerde morfolojik adaptasyon oluşturabileceğine ilişkin kanıtı güçlendirmiştir [10].

Pratik programlamada yük, set, tekrar ve dinlenme aralıkları sporcunun teknik yeterliği ve antrenman yaşına göre ilerletilmelidir. Çocuklarda ilk hedef maksimal yüklerin denenmesi değil, hareketin doğru öğrenilmesi ve submaksimal yüklerde kontrolün geliştirilmesidir. Daha deneyimli ergenlerde ise kuvvet ve güç gelişimini hedefleyen daha yüksek dirençler kullanılabilir. Her durumda antrenör, yorgunlukla birlikte teknik bozulmayı izlemeli ve egzersizin kalitesini yük miktarının önünde tutmalıdır.

Direnç antrenmanının uzun vadeli sportif gelişimdeki değeri yalnızca maksimal kuvvet artışı değildir. Kuvvet; sprint, sıçrama, yön değiştirme, temasla mücadele ve spor becerilerinin uygulanması için fiziksel bir temel oluşturur. Ayrıca kas ve kemik dokusunun yüklenmeye uyum sağlaması, ilerleyen yıllardaki yüksek antrenman yüklerinin tolere edilmesine katkı sağlayabilir [1,3]. Bu nedenle genç sporcularda kuvvet antrenmanı, diğer motor özelliklerden bağımsız bir bölüm değil, genel atletik gelişimin bütünleştirici bileşeni olarak planlanmalıdır.

4. PLİOMETRİ, SÜRAT VE NÖROMÜSKÜLER GELİŞİM

Pliometrik antrenman ve sürat çalışmaları genç sporcularda patlayıcı kuvvet, sıçrama, sprint ve yön değiştirme performansının geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak büyüme döneminde uzuv uzunluklarının, vücut kütlesinin ve ağırlık merkezinin değişmesi, hareket kontrolünü geçici olarak etkileyebilir. Bu nedenle pliometrik egzersizlerin zorluk derecesi sporcunun biyolojik olgunlaşması, iniş mekaniği ve temel kuvvet düzeyiyle uyumlu olmalıdır [1,4].

Long ve arkadaşları küçük yaşlarda sekme ve temel sıçrama görevlerinden başlanmasını; ilerleyen yaşlarda squat sıçraması, ters hareket sıçraması ve daha yüksek düzeyli dikey-yatay pliometrik uygulamalara geçilmesini önermektedir [1]. Ergenlik öncesi sporcularda koordinasyon, denge ve uzamsal farkındalığı zorlayan oyunlar ve engel parkurları özellikle değerlidir. Puberte ve sonrasında ise kuvvet altyapısının gelişmesiyle daha yüksek kuvvet üretimi gerektiren sıçrama, hamle ve sürat uygulamaları kullanılabilir.

2025 yılında Lin ve arkadaşlarının genç erkek takım sporu sporcularında gerçekleştirdiği sistematik derleme ve meta-analiz, pliometrik antrenmana verilen yanıtın olgunlaşma evresine göre farklılaşabileceğini göstermiştir [11]. Bu bulgu, yalnızca kronolojik yaşa göre programlama yapılmasının sınırlılığını desteklemektedir. Aynı zamanda olgunlaşma düzeyinin tek başına programı belirlemediği; antrenman geçmişi, spor branşı, kullanılan pliometrik egzersizlerin yönü ve toplam hacmin de dikkate alınması gerektiği unutulmamalıdır.

2026 yılında Yuan ve arkadaşları tarafından yayımlanan ve 63 çalışmayı kapsayan meta-analizde pliometrik antrenmanın ergenlerde sıçrama, sprint ve çeviklik performansını anlamlı biçimde geliştirdiği bildirilmiştir [12]. Bulgular özellikle daha uzun süreli müdahalelerde yararların daha tutarlı olabileceğini göstermiştir. Bu sonuçlar, pliometrik antrenmanın genç sporcularda etkili bir araç olduğunu desteklemekle birlikte, antrenman dozunun ve teknik kalitenin önemini de ortaya koymaktadır.

Uzun vadeli gelişim açısından sürat ve pliometri yalnızca performans testlerini iyileştiren yöntemler olarak görülmemelidir. Doğru hızlanma mekaniği, etkili ayak teması, kontrollü iniş, kuvveti kısa sürede üretme ve yön değiştirme sırasında gövde-alt ekstremite kontrolü, sporcunun hareket yeterliğinin parçalarıdır. Bu becerilerin erken yaşlarda uygun düzeyde öğretilmesi, daha sonraki kuvvet ve güç antrenmanlarının spora aktarımını kolaylaştırabilir.

5. GÜVENLİK, YARALANMALARIN ÖNLENMESİ VE YÜK YÖNETİMİ

Genç sporcularda kuvvet ve kondisyon programlarının temel koşulu güvenliktir. Yaralanmalar uygun olmayan teknik, aşırı yüklenme, yetersiz dinlenme, kontrolsüz antrenman hacmi ve gelişim düzeyine uygun olmayan egzersizlerden kaynaklanabilir. Güvenlik kavramı yalnızca akut kas-iskelet sistemi yaralanmalarını değil, aşırı kullanım sorunlarını, yorgunluğu, enerji yetersizliğini ve psikososyal iyilik hâlini de kapsamalıdır [1].

Aşırı kullanım yaralanmalarında toplam yük önemlidir. Aynı dokulara tekrar tekrar yük bindiren spor becerileri ile kuvvet antrenmanındaki benzer hareket örüntülerinin aynı dönemde yüksek hacimde uygulanması riski artırabilir. Örneğin branş antrenmanında yüksek sayıda sıçrama yapan bir sporcunun kondisyon seansında da kontrolsüz yüksek hacimli pliometri uygulaması toplam mekanik yükü gereksiz biçimde artırabilir. Bu nedenle saha antrenmanı, müsabaka ve kuvvet-kondisyon çalışmaları tek bir yük sistemi içinde değerlendirilmelidir.

2025 yılında Li ve Zhu tarafından yayımlanan sistematik derleme ve meta-analiz, 24 çalışmanın verileri üzerinden nöromüsküler antrenmanın adölesan ve genç sporcularda alt ekstremite yaralanma riskini azalttığını bildirmiştir [13]. Çalışmada toplam alt ekstremite yaralanma riskinde yaklaşık %27 azalma raporlanmıştır. Bu bulgu, kuvvet, denge, pliometri, yön değiştirme ve hareket kontrolünü bütünleştiren nöromüsküler programların yaralanma önleme açısından önemini desteklemektedir.

2026 yılında Olivier ve arkadaşlarının adölesan erkek sporculara odaklanan sistematik derleme ve meta-analizi de çok bileşenli nöromüsküler ısınma stratejilerinin yaralanma sayısını azaltabildiğini göstermiştir [14]. Çalışmada çok bileşenli ısınma programlarında yaralanma sayısında %31 azalma bildirilmiş, ayrıca bazı nöromüsküler stratejilerin temas dışı yaralanmalar ve yaralanma şiddeti üzerinde yararlı etkileri olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte spor branşı, cinsiyet, yaş ve program süresindeki farklılıklar nedeniyle tek bir protokolün bütün genç sporcular için standartlaştırılması uygun değildir.

Pratikte güvenli bir program; uygun alan ve ekipman, antrenör başına yönetilebilir sporcu sayısı, açık yönergeler, teknik geri bildirim, aşamalı yüklenme ve yeterli toparlanma gerektirir. Sporcunun ağrı, olağandışı yorgunluk veya hareket kalitesinde bozulma göstermesi durumunda programın yeniden düzenlenmesi gerekir. Uzun vadeli gelişimde asıl hedef, sporcunun birkaç haftalık performans artışı uğruna gereksiz risk alması değil, yıllar boyunca düzenli ve sağlıklı biçimde antrenman yapabilmesidir.

6. ISINMA, TOPARLANMA, BESLENME VE UYKU

Isınma, genç sporcularda antrenman ve müsabakaya hazırlığın temel bölümüdür. Long ve arkadaşları statik germe, kendi kendine miyofasyal gevşetme, dinamik ısınma ve spora özgü hareketlerin uygun biçimde birleştirilebileceğini belirtmektedir [1]. Isınmanın amacı yalnızca vücut sıcaklığını artırmak değil; takip eden antrenmanda kullanılacak hareket örüntülerini hazırlamak, eklem hareket açıklığını ve nöromüsküler aktivasyonu desteklemek ve sporcuyu psikolojik olarak seansa hazırlamaktır.

Statik germenin tek başına ve uzun süreli uygulanmasının bazı patlayıcı performans çıktılarında akut azalmaya yol açabileceği; buna karşın dinamik ve spora özgü ısınmayla birlikte kullanıldığında bu olumsuz etkinin azalabileceği daha önce bildirilmiştir [5]. Bu nedenle özellikle sürat, sıçrama veya yüksek kuvvet üretimi gerektiren seanslardan önce ısınmanın dinamik ve göreve özgü bileşenler içermesi uygundur.

Toparlanma, antrenmanın dışında kalan pasif bir dönem değil, adaptasyon sürecinin parçasıdır. Genç sporcularda okul yükü, uyku düzeni, büyüme, ek spor etkinlikleri ve sosyal yaşam toplam stres düzeyini etkileyebilir. Bu nedenle yalnızca antrenman içi yük değil, antrenman dışı stresörler de izlenmelidir. Özellikle büyüme atakları ve yoğun müsabaka dönemlerinde yüklenme ile toparlanma arasındaki denge daha dikkatli kurulmalıdır.

Beslenme ve sıvı alımı büyüme, olgunlaşma ve antrenman adaptasyonu için yeterli enerji ve besin öğelerinin sağlanmasına hizmet eder. Genç sporcularda performans hedefleri, büyüme gereksinimlerinin önüne

geçmemelidir. Antrenman öncesi, sırası ve sonrasında sıvı-elektrolit dengesi ile yeterli enerji ve protein alımı konusunda yaşa uygun eğitim verilmesi önemlidir [1].

Uyku ise hem fiziksel toparlanma hem bilişsel gelişim açısından temel bir bileşendir. Long ve arkadaşlarının aktardığı bir randomize kontrollü çalışmada 12 haftalık kuvvet antrenmanının ergenlerde uyku kalitesi ve süresini geliştirebildiği bildirilmiştir [8]. Bununla birlikte uyku, yalnızca antrenmanın olası sonucu değil, antrenmana hazır oluşu belirleyen temel değişkenlerden biridir. Yetersiz uyku yaşayan genç sporcuda yüksek şiddetli antrenmanın sürdürülmesi teknik kaliteyi ve toparlanmayı olumsuz etkileyebilir.

7. UZUN VADELİ SPORTİF GELİŞİM AÇISINDAN UYGULAMAYA YÖNELİK DEĞERLENDİRME

Genç sporcuların gelişiminde en önemli ilkelerden biri, antrenman bileşenlerini birbirinden bağımsız hedefler olarak görmemektir. Kuvvet, sürat, güç, çeviklik, denge ve koordinasyon ortak nöromüsküler altyapıya sahiptir ve farklı gelişim dönemlerinde farklı önceliklerle birlikte çalıştırılabilir. Örneğin erken yaşlarda oyun temelli koordinasyon ve temel kuvvet uygulamaları ön plandayken, ergenlikle birlikte yapılandırılmış kuvvet, pliometri ve sürat çalışmalarının göreli payı artırılabilir.

İkinci temel ilke, gelişimin doğrusal olmadığıdır. Büyüme atakları sırasında daha önce iyi uygulanan bir hareketin geçici olarak bozulması, sporcunun gerilediği anlamına gelmeyebilir. Uzuv uzunluklarındaki ve vücut kütlesindeki hızlı değişimler hareket kontrolünü etkileyebilir. Bu dönemlerde yükü artırmak yerine teknik öğretime, dengeye, iniş mekaniğine ve hareket kalitesine yeniden odaklanmak gerekebilir [1,11].

Üçüncü ilke, genç sporcularda antrenman başarısının yalnızca performans testleriyle değerlendirilmemesidir. Bir program sıçrama veya sprint performansını geliştirirken aynı zamanda sporcunun ağrısız antrenman yapabilmesini, hareket kalitesini, spora devamlılığını ve farklı hareket görevlerine uyumunu da desteklemelidir. Güncel yaralanma önleme kanıtları, çok bileşenli nöromüsküler programların bu bütüncül yaklaşım içinde önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir [13,14].

Son olarak, nitelikli gözetim bütün yaş gruplarında belirleyicidir. Antrenörün görevi yalnızca egzersiz listesini uygulatmak değil; sporcunun tekniğini gözlemek, yükü düzenlemek, uygun geri bildirim vermek, büyüme ve olgunlaşma özelliklerini dikkate almak ve gerektiğinde sağlık profesyonelleriyle iş birliği yapmaktır. Uzun vadeli sportif gelişim, tek bir 'ideal programdan' çok, sporcunun gelişimine göre sürekli uyarlanan bir karar verme sürecidir.

8. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Genç sporcularda kuvvet ve kondisyon antrenmanı, uygun biçimde tasarlandığında uzun vadeli sportif gelişimin temel araçlarından biridir. Long ve arkadaşlarının 2024 tarihli derlemesi, güvenli ve etkili programlama için yaş, olgunlaşma, bilişsel yetenek, ergenlik durumu, spor yükü ve hazır oluşun birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır [1]. 2025-2026 döneminde yayımlanan güncel sistematik derleme ve meta-analizler bu yaklaşımı büyük ölçüde desteklemekte; direnç antrenmanının kas morfolojisi ve fiziksel gelişim üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğini, pliometrik antrenmanın sıçrama-sprint-çeviklik performansını geliştirebildiğini ve nöromüsküler programların yaralanmaların azaltılmasına katkı sağlayabildiğini göstermektedir [9-14].

Bu kanıtlar ışığında çocuk ve ergenlere yönelik kuvvet-kondisyon programları kronolojik yaşa göre standart reçeteler şeklinde değil, gelişimsel ve bireysel özelliklere göre kademeli biçimde yapılandırılmalıdır. Erken dönemlerde oyun, temel hareket becerileri, vücut ağırlığı ve koordinasyon; ilerleyen dönemlerde ise yapılandırılmış direnç, kuvvet-güç, sürat ve pliometrik çalışmalar uygun teknik ve gözetimle bütünleştirilmelidir. Isınma, beslenme, uyku, toparlanma ve toplam spor yükünün izlenmesi bu sistemin ayrılmaz parçalarıdır.

Sonuç olarak genç sporcularda amaç, erken yaşta yetişkin antrenmanını taklit etmek değil; sporcunun gelişim evresine uygun hareket kapasitesini sistematik biçimde genişletmektir. Uzun vadeli başarı;

performans gelişimi, yaralanmaların önlenmesi, spora devamlılık ve sağlıklı büyümenin birlikte ele alındığı bütüncül bir kuvvet ve kondisyon yaklaşımıyla desteklenebilir.

KAYNAKÇA

[1] Long, C., Ranellone, S. ve Welch, M., Strength and Conditioning for Long-Term Athletic Development in the Young Athlete, HSS Journal, 20(3), 444-449, 2024. doi:10.1177/15563316241248445.

[2] Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J. ve ark., Youth Resistance Training: Updated Position Statement Paper from the National Strength and Conditioning Association, Journal of Strength and Conditioning Research, 23(Suppl 5), S60-S79, 2009. doi:10.1519/JSC.0b013e31819df407.

[3] Faigenbaum, A. D., Lloyd, R. S., MacDonald, J. ve Myer, G. D., Beneficial Effects of Resistance Training for Young Athletes: Narrative Review, British Journal of Sports Medicine, 50(1), 3-7, 2016. doi:10.1136/bjsports-2015-094621.

[4] Oliver, J. L., Lloyd, R. S. ve Rumpf, M. C., Developing Speed Throughout Childhood and Adolescence, Strength and Conditioning Journal, 35(3), 42-48, 2013. doi:10.1519/SSC.0b013e3182919d32.

[5] Behm, D. G. ve Chaouachi, A., A Review of the Acute Effects of Static and Dynamic Stretching on Performance, European Journal of Applied Physiology, 111(11), 2633-2651, 2011. doi:10.1007/s00421-011-1879-2.

[6] Donti, O., Papia, K., Toubekis, A., Donti, A., Sands, W. ve Bogdanis, G., Acute and Long-Term Effects of Two Different Static Stretching Training Protocols on Range of Motion and Vertical Jump in Preadolescent Athletes, Biology of Sport, 38(4), 579-586, 2021. doi:10.5114/biolsport.2021.101127.

[7] Lloyd, R. S. ve Oliver, J., Strength and Conditioning for Young Athletes, Taylor & Francis, Abingdon, 2020.

[8] Santiago, L. C. S., Lyra, M. J., Germano-Soares, A. H. ve ark., Effects of Strength Training on Sleep Parameters of Adolescents: A Randomized Controlled Trial, Journal of Strength and Conditioning Research, 36(5), 1222-1227, 2022. doi:10.1519/JSC.0000000000003629.

[9] Enomoto, S. ve Tottori, N., Muscle Morphological Adaptations to Resistance Training and Sports Participation in Children and Adolescents: A Scoping Review, Frontiers in Sports and Active Living, 7, 1646835, 2025. doi:10.3389/fspor.2025.1646835.

[10] Komm, Y., Zeiler, L., Held, S., Comfort, P., Faigenbaum, A., Geisler, S. ve ark., Effects of Resistance Training on Muscle Hypertrophy in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis, Sports Medicine, 2026. doi:10.1007/s40279-026-02499-0.

[11] Lin, G., Chen, J., Yan, R., Deng, B., Song, W., Guan, B. ve Sun, J., Effects of Maturation Stage on Physical Fitness in Youth Male Team Sports Players After Plyometric Training: A Systematic Review and Meta-Analysis, Sports Medicine - Open, 11, 97, 2025. doi:10.1186/s40798-025-00907-9.

[12] Yuan, S., Chai, Y., Tan, Z., Cui, Z., Lu, Q. ve ark., The Effects of Plyometric Training on Adolescent Sports Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis, PeerJ, 14, e21585, 2026. doi:10.7717/peerj.21585.

[13] Li, Y. ve Zhu, W., The Preventive Effects of Neuromuscular Training on Lower Extremity Sports Injuries in Adolescent and Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis, The Knee, 56, 373-385, 2025. doi:10.1016/j.knee.2025.06.008.

[14] Olivier, F., Olivier, B., Swart, J. J. W., Hohlfeld, A. S.-J. ve MacMillan, C., Effect of Neuromuscular Training Strategies on Injury Rates in Adolescent Males Playing Sport: A Systematic Review and Meta-Analysis, Physical Therapy in Sport, 79, 101904, 2026. doi:10.1016/j.ptsp.2026.101904.

TUNCELİ'DE YAYILIŞ GÖSTEREN RUMİNANT HAYVANLARDAKİ ANAEROBİK FUNGUSLARIN MOLEKÜLER TANIMLANMASI

Murat Üstüntaş
Munzur Üniversitesi,
murat.ustuntas@gmail.com - 0000-0002-1473-8212

Dr. Öğr. Üyesi Bülent Kar
Munzur Üniversitesi,
bkar@munzur.edu.tr - 0000-0002-8839-2605

ÖZET

Anaerobik Gut Funguslar (AGF) herbivor hayvanların sindirim kanalının bir parçası olan rumen içerisinde bulunan mikroorganizmalardan birisidir. Sahip oldukları, yüksek fibrolitik enzim aktiviteleri ile biyoteknolojik potansiyel açısından dikkat çekicidirler. Zorunlu anaerobik yapıları nedeniyle kültüre alınmaları da bilimsel açıdan ayrı bir önem taşımaktadır. Günümüzde AGF'larin yeni cins ve taksonlarının keşfi sürerken, bu mikroorganizmaların endüstriyel uygulama alanları da giderek genişlemektedir. Bugüne kadar herbivorların sindirim sisteminde en az 25 AF cinsi ve taksonu tanımlanmış olmakla birlikte, keşfedilmeyi bekleyen cins ve türlerin varlığı bilinmektedir. Bu çalışmada, Tunceli bölgesindeki ruminantlarda bulunan anaerobik fungusların filogenetik çeşitliliğinin belirlenmesi ve cins düzeyindeki filogenetik ilişkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Türkiye kültür koleksiyonunu zenginleştirmek amacıyla, daha önce örneklenmemiş kırsal bölgelerden toplanan rumen ve dışkı örneklerinden AGF'lar izole edilerek tanımlanmıştır. Bu tanımlama işlemi hem morfolojik hem de moleküler düzeyde gerçekleştirilmiştir. Moleküler tanımlamada internal transcribed spacer (ITS) bölgesi kullanılırken, morfolojik tanımlama da ışık mikroskobu kullanılmıştır. Işık mikroskobu incelemeleri sonucunda Neocallimastix sp., Orpinomyces sp. ve Piromyces sp. cinslerine ait rumen fungusları tespit edilmiştir. Sekans analizi ve morfolojik gözlemler sonucunda 12 farklı AGF örneği stoklanmıştır. Bu çalışma kapsamında, Tunceli bölgesinden izole edilen anaerobik funguslara ait bir kültür koleksiyonu ve DNA kütüphanesi oluşturulmuştur. Filogenetik analizler, bölgedeki rumen funguslarının mevcut türlerden farklı evrimsel örüntüler sergilediğini ve herbivorlarda henüz tam olarak tanımlanmamış bir fungus çeşitliliğine işaret ettiğini göstermiştir. Ancak bu bulguların doğrulanması için daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Tunceli'deki rumen funguslarının izolasyonu, tanımlanması ve filogenetik değerlendirilmesine odaklanan bu çalışma, bölgedeki AGF çeşitliliğinin ortaya konmasına katkı sağlayan öncü araştırmalardan biri olması bakımından önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler : ITS, anaerobik gut funguslar, filogenetik, DNA dizileme

[1]Bu çalışma, Murat ÜSTÜNTAŞ'ın "Tunceli'de Yayılış Gösteren Ruminant Hayvanlardaki Anaerobik Fungusların Moleküler Tanımlanması" başlıklı Yüksek Lisans Tezinden türetilmiştir (Munzur Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, 2022). Ayrıca çalışma, Munzur Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından YLMUB021-10 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

MOLECULAR CHARACTERISTICS OF ANAEROBIC FUNGI IN RUMINANT ANIMALS DISTRIBUTED IN TUNCELI

Murat Üstüntaş
Munzur University,
murat.ustuntas@gmail.com - 0000-0002-1473-8212

Asst. Prof. Bülent Kar
Munzur University,
bkar@munzur.edu.tr - 0000-0002-8839-2605

ABSTRACT

Anaerobic Gut Fungi (AGF) are one of the microorganisms found within the rumen, which is a part of the digestive tract of herbivorous animals. They are remarkable in terms of biotechnological potential due to their high fibrolytic enzyme activities. Because of their obligate anaerobic nature, their cultivation also carries particular scientific importance. While the discovery of new genera and taxa of AGF continues today, the industrial application areas of these microorganisms are also increasingly expanding. Although at least 25 AF genera and taxa have been identified in the digestive systems of herbivores to date, the existence of genera and species awaiting discovery is known. In this study, it was aimed to determine the phylogenetic diversity of anaerobic fungi present in ruminants in the Tunceli region and to evaluate their phylogenetic relationships at the genus level. In order to enrich the Turkish culture collection, AGFs were isolated and identified from rumen and fecal samples collected from previously unsampled rural areas. This identification process was carried out at both morphological and molecular levels. While the internal transcribed spacer (ITS) region was used for molecular identification, light microscopy was used for morphological identification. As a result of light microscopic examinations, rumen fungi belonging to the genera Neocallimastix sp., Orpinomyces sp., and Piromyces sp. were detected. As a result of sequence analysis and morphological observations, 12 different AGF samples were stocked. Within the scope of this study, a culture collection and DNA library belonging to anaerobic fungi isolated from the Tunceli region were established. Phylogenetic analyses showed that the rumen fungi in the region exhibit evolutionary patterns different from existing species and indicate a fungal diversity in herbivores that has not yet been fully characterized. However, more comprehensive studies are needed to confirm these findings. This study, focusing on the isolation, identification, and phylogenetic evaluation of rumen fungi in Tunceli, is important as one of the pioneering studies contributing to the characterization of AGF diversity in the region.

Keywords: ITS, anaerobic gut fungi, phylogenetics, DNA sequencing

[1]This study is derived from Murat ÜSTÜNTAŞ's Master's Thesis entitled "Molecular Identification of Anaerobic Fungi in Ruminant Animals Distributed in Tunceli" (Munzur University, Institute of Science, Department of Biotechnology, 2022). Furthermore, the study was supported by the Munzur University Scientific Research Projects Unit under project number YLMUB021-10.

BULAŞIK MAKINESI SUMP FILTRESINDE MESH GÖZENEK AÇIKLIĞININ YIKAMA PERFORMANSI VE FILTRASYON DAVRANIŞI ÜZERINDEKI ETKISININ İNCELENMESI

E&P Laboratuvarı Test & Performans Uzmanı, Onur TURHAN
RENTA ELEKTRİKLİ EV ALETLERİ SAN.VE DIŞ.TİC.LTD.ŞTİ,
onur.turhan@haier-europe.com - 0000-0002-6664-3389

ÖZET

Ev tipi bulaşık makinelerinde yıkama suyunun kapalı devre sirkülasyonu sırasında partiküllerin etkin biçimde uzaklaştırılması, yıkama performansının sürdürülebilmesi ve püskürtme sistemi üzerindeki tıkanma riskinin azaltılması açısından önem taşımaktadır. Sump bölgesinde konumlanan filtre elemanı, partikül tutma kapasitesi ile su sirkülasyonu sırasında oluşan hidrolik direnç arasındaki dengeyi belirleyen önemli sistem bileşenlerinden biridir. Bu nedenle, filtre gözenek açıklığının belirlenmesinde filtrasyon etkinliği ile hidrolik performansın birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, akış yönlendirme kabiliyeti geliştirilmiş yeni nesil bir sump filtre gövdesi üzerinde, 7 µm ve 41 µm gözenek açıklığına sahip teknik mesh yapıların bulaşık makinesi yıkama performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Farklı filtre konfigürasyonları, referans filtre ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve gözenek açıklığının sistem performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar, EN 60436 standardına uygun test prosedürleri ve standart kir yükleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testlerde porselen, cam ve metal yüzeylerdeki temizlik durumu ile yıkama performansı değerlendirilmiş; ayrıca filtre yapısının partikül tutma davranışı ve püskürtme sisteminin çalışma koşulları üzerindeki olası etkileri gözlemlenmiştir. Bu kapsamda, daha küçük gözenek açıklığının partikül filtrasyonunu artırırken oluşturabileceği akış direnci ile daha büyük gözenek açıklığının sağlayabileceği hidrolik avantaj arasındaki ilişki incelenmiştir.

Çalışmanın temel amacı, 7 µm ve 41 µm mesh yapıların yıkama performansı üzerindeki etkilerini karşılaştırarak, sump filtresi için uygun gözenek açıklığının belirlenmesine yönelik deneysel bir yaklaşım ortaya koymaktır. Elde edilen sonuçların, sump filtre tasarımında filtrasyon kapasitesi ile su sirkülasyonu arasındaki dengenin belirlenmesine ve yüksek filtrasyon gerektiren yeni nesil bulaşık makinesi sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bulaşık Makinesi, Sump Filtresi, Mesh, EN 60436, Yıkama Performansı

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MESH PORE SIZE ON WASHING PERFORMANCE AND FILTRATION BEHAVIOR IN A DISHWASHER SUMP FILTER

E&P Laboratory Test & Performance Specialist, Onur TURHAN
RENTA ELEKTRİKLİ EV ALETLERİ SAN.VE DIŞ.TİC.LTD.ŞTİ,
onur.turhan@haier-europe.com - 0000-0002-6664-3389

ABSTRACT

During the closed-loop circulation of washing water in household dishwashers, effective removal of particles is important for maintaining washing performance and reducing the risk of clogging in the spray system. The filter located in the sump is an important component that determines the balance between particle retention capacity and hydraulic resistance during water circulation. Therefore, filtration efficiency and hydraulic performance should be considered together when determining the appropriate filter pore size.

In this study, the effects of technical mesh structures with 7 µm and 41 µm pore sizes on dishwasher washing performance were experimentally investigated using a newly developed sump filter body with improved flow direction capability. Different filter configurations were compared with the reference filter, and the effect of pore size on overall system performance was evaluated.

Experimental tests were carried out using test procedures and standard soil loads in accordance with the EN 60436 standard. Cleaning performance on porcelain, glass, and metal surfaces was evaluated together with the overall washing performance. In addition, particle retention behavior of the filter structure and possible effects on the operating conditions of the spray system were observed. Within this scope, the relationship between the increased flow resistance that may result from a smaller pore size and the hydraulic advantage that may be provided by a larger pore size was investigated.

The main objective of this study is to compare the effects of 7 µm and 41 µm mesh structures on washing performance and to provide an experimental approach for determining the appropriate pore size for a dishwasher sump filter. The results are expected to contribute to determining the balance between filtration capacity and water circulation in sump filter design and to the development of next-generation dishwasher systems requiring high filtration performance.

Keywords: Dishwasher, Sump Filter, Mesh, EN 60436, Washing Performance

1. Giriş

Ev tipi bulaşık makinelerinde yüksek yıkama performansının sürdürülebilir şekilde sağlanması, su sirkülasyon sisteminin etkin çalışmasına ve yıkama suyu içerisindeki partiküllerin kontrol edilmesine bağlıdır. Yıkama döngüsü sırasında gıda kalıntıları ve diğer partiküller dolaşım suyuna karışarak sistem içerisinde taşınabilir ve filtre yüzeylerinde veya hidrolik bileşenlerde birikebilir. Bu birikimler, uygun koşullarda püskürtme nozullarının tıkanmasına ve suyun bulaşık yüzeylerine dağılımının olumsuz etkilenmesine neden olabilir. Bu nedenle, dolaşım suyunun filtrelenmesi ve partiküllerin sistem içerisindeki hareketinin kontrol edilmesi, bulaşık makinesi tasarımında önemli bir mühendislik konusudur [2,3].

Enerji ve su tüketiminin azaltılması, bulaşık makinelerinde yıkama performansının korunmasıyla birlikte ele alınması gereken temel tasarım hedeflerindendir. Avrupa Birliği'nin Ecodesign ve enerji etiketleme düzenlemeleri, ev tipi bulaşık makinelerinde kaynak verimliliğinin geliştirilmesine yönelik çalışmalara önem kazandırmaktadır [6]. Bulaşık makinelerinin yıkama performansının değerlendirilmesinde ise EN 60436 standardında tanımlanan test yöntemlerinden yararlanılmaktadır [1,8,9].

Literatürde su sertliği, deterjan özellikleri, yıkama programları ve püskürtme sistemi geometrisi gibi parametrelerin yıkama performansına etkileri araştırılmıştır [12,13]. Buna karşılık, sump bölgesindeki filtre yapısının ve özellikle mesh gözenek açıklığının filtrasyon davranışı ile yıkama performansı üzerindeki etkilerinin birlikte değerlendirilmesi önemini korumaktadır [2,3]. Filtre tasarımında temel mühendislik problemlerinden biri, partikül tutma kapasitesi ile su akışına karşı oluşan hidrolik direnç arasında uygun bir denge sağlamaktır [2,3,4,5]

Daha küçük gözenek açıklıkları, belirli boyutlardaki partiküllerin tutulma olasılığını artırabilir. Bununla birlikte, filtre malzemesinin özelliklerine, açık alan oranına ve çalışma koşullarına bağlı olarak su akışını da etkileyebilir. Daha büyük gözenek açıklıkları su geçişi açısından avantaj sağlayabilirken daha küçük partiküllerin filtreden geçmesine izin verebilir. Dolayısıyla uygun mesh seçimi, yalnızca gözenek boyutuna göre değil, filtrasyon kapasitesi ve hidrolik performansın birlikte değerlendirilmesiyle yapılmalıdır [4,5,7,11].

Bu çalışmada, akış yönlendirme kabiliyeti geliştirilmiş yeni nesil bir sump filtre gövdesi üzerinde 7 µm ve 41 µm gözenek açıklığına sahip teknik mesh yapıların yıkama performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Prototip filtre konfigürasyonları, mevcut referans filtre ile karşılaştırılmıştır. EN 60436 standardına uygun test prosedürleri kullanılarak elde edilen yıkama performansı indeksleri değerlendirilmiş ve farklı filtre konfigürasyonları arasındaki performans farklılıkları araştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı, sump filtre tasarımında gözenek açıklığının yıkama performansıyla ilişkisini ortaya koymak ve filtrasyon kapasitesi ile su sirkülasyonu arasındaki dengenin değerlendirilmesine katkı sağlamaktır [1,8,10].

2. Yöntem

2.1. Filtre Tasarımı ve Konfigürasyonları

Bu çalışmada, ev tipi bulaşık makinelerinde kullanılan sump filtre sisteminin performansını değerlendirmek amacıyla mevcut referans filtre ile iki farklı prototip filtre konfigürasyonu karşılaştırılmıştır. Prototip filtreler, akış yönlendirme kabiliyeti geliştirilmiş yeni nesil sump filtre gövdesi üzerinde oluşturulmuştur. Bu gövdeye 7 µm ve 41 µm gözenek açıklığına sahip teknik mesh yapıları entegre edilmiştir.

Deneysel değerlendirmeler, uluslararası EN 60436 standardında tanımlanan test prosedürlerine ve kir yükü spesifikasyonlarına tam uyumlu olarak yürütülmüştür.

Çalışmada üç konfigürasyon değerlendirilmiştir:

1. Mevcut referans filtre.
2. 7 µm gözenek açıklığına sahip prototip filtre.
3. 41 µm gözenek açıklığına sahip prototip filtre.

Bu konfigürasyonlar kullanılarak farklı mesh gözenek açıklıklarının yıkama performansıyla ilişkisi incelenmiştir. Prototipler yeni geliştirilen filtre gövdesi üzerinde değerlendirildiğinden, referans filtre ile yapılan karşılaştırma gözenek açıklığının yanı sıra filtre konfigürasyonundaki tasarım farklılıklarını da içermektedir.

2.2. Deneysel Prosedür

Deneysel çalışmalar, EN 60436 standardına uygun yıkama performansı test prosedürleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testlerde porselen, cam ve çatal-kaşık yük gruplarına ait temizlik sonuçları değerlendirilmiştir.

Karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmek amacıyla test platformu, yıkama programı, deterjan kullanımı ve deney koşulları mümkün olduğunca sabit tutulmuştur. Test çevrimleri sonunda her filtre konfigürasyonu için temizlik puanları ve yıkama performansı indeksleri kaydedilmiştir.

Yıkama performansı indeksi, filtre konfigürasyonlarının performansını karşılaştırmak için temel değerlendirme parametresi olarak kullanılmıştır. Filtrasyon davranışı ve hidrolik performans, filtre tasarımının yorumlanmasında dikkate alınan unsurlar olarak ele alınmış, basınç kaybı, su debisi ve partikül tutma kapasitesi doğrudan ölçülmediğinden nicel olarak değerlendirilmemiştir.

2.3. Veri Analizi

Her filtre konfigürasyonu için iki test sonucu elde edilmiş ve yıkama performansı indekslerinin aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır. Prototip filtreler ile referans filtre arasındaki farklar, ortalama indeksler üzerinden karşılaştırılmıştır.

Bu değerlendirme, test edilen konfigürasyonlar arasındaki gözlenen performans farklılıklarını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Test tekrarlarının sınırlı olması nedeniyle sonuçlar

istatistiksel anlamlılığın kanıtı olarak değil, deneysel karşılaştırmanın bulguları olarak ele alınmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Yeni nesil sump filtresi üzerinde 7 µm ve 41 µm gözenek boyutları ile gerçekleştirilen testlerden elde edilen temizlik puanları ve hesaplanan performans indeksleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Yıkama Performansı					
Porselen	Bardak	Çatal-Bıçak Takımı	Yıkama Performansı	Yıkama Performans İndeksi	Durum
3.94	3.18	4.75	4.07	1.141	Mevcut Filtre
2.81	3.44	4.80	4.06	1.134	Mevcut Filtre
2.57	3.01	4.33	3.89	1.076	Prototip Filtre (7 µm)
2.51	2.94	4.21	3.86	1.072	Prototip Filtre (7 µm)
4.05	3.68	4.90	4.14	1.167	Prototip Filtre (41 µm)
3.98	3.57	4.88	4.11	1.159	Prototip Filtre (41 µm)

Tablo 1: Farklı Filtre Konfigürasyonlarının Yıkama Performansı Sonuçları

3.1. Yıkama Performansı Sonuçları

Tablo 1'de sunulan deneysel sonuçlara göre, referans filtrenin ortalama yıkama performansı indeksi 1,138 olarak hesaplanmıştır. 7 µm prototip filtre için ortalama indeks 1,074, 41 µm prototip filtre için ise 1,163 olarak elde edilmiştir.

Referans filtre ile karşılaştırıldığında, 7 µm prototip filtrenin ortalama yıkama performansı indeksi yaklaşık %5,6 daha düşük, 41 µm prototip filtrenin indeksi ise yaklaşık %2,2 daha yüksektir. Test edilen konfigürasyonlar arasında en yüksek ortalama yıkama performansı indeksi 41 µm prototip filtrede elde edilmiştir.

3.2. Mesh Gözenek Açıklığının Yıkama Performansına Etkisi

Deneysel sonuçlar, incelenen filtre konfigürasyonlarında mesh gözenek açıklığı ile yıkama performansı arasında farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. En küçük gözenek açıklığına sahip 7 µm prototip filtre en düşük ortalama yıkama performansı indeksini verirken, 41 µm prototip filtre her iki testte de referans filtreden daha yüksek indeks değerleri sağlamıştır.

Bu bulgular, daha küçük gözenek açıklığının tek başına daha yüksek yıkama performansı sağlayacağı anlamına gelmediğini göstermektedir. Gözenek açıklığı filtrasyon davranışını etkileyebilecek önemli bir tasarım parametresi olmakla birlikte, filtre konfigürasyonunun genel özellikleri de sistem performansının değerlendirilmesinde dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada basınç kaybı, su debisi ve partikül tutma kapasitesi doğrudan ölçülmediğinden, gözlenen performans farklılıklarının altında yatan mekanizmalar kesin olarak belirlenememektedir. Bu parametrelerin gelecekte doğrudan ölçülmesi, mesh gözenek açıklığı ile filtrasyon davranışı ve yıkama performansı arasındaki ilişkinin daha ayrıntılı incelenmesine katkı sağlayabilir.

3.3. Filtre Tasarımı Açısından Değerlendirme

Elde edilen sonuçlar, sump filtre tasarımında mesh seçiminin yalnızca gözenek açıklığına göre değil, filtrenin genel tasarım özellikleri ve yıkama performansıyla ilişkisi dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. İncelenen konfigürasyonlar arasında 41 µm prototip filtrenin en yüksek ortalama yıkama performansı indeksini sağlaması, bu filtre konfigürasyonunun mevcut test koşullarında daha ayrıntılı değerlendirilmesini desteklemektedir.

Bununla birlikte, prototip filtrelerin gövde tasarımının referans filtreden farklı olması, performans sonuçlarının mesh gözenek açıklığı ve filtre tasarımı birlikte ele alınarak değerlendirilmesini önemli kılmaktadır. Bu nedenle, uygun filtre konfigürasyonunun belirlenmesinde mesh özelliklerinin yanı sıra filtre gövdesinin tasarımının da dikkate alınması önem taşımaktadır. Gelecek çalışmalarda hidrolik ölçümlerin ve partikül tutma analizlerinin yıkama performansı testleriyle birlikte yürütülmesi, filtre tasarımının performans üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı değerlendirilmesini sağlayabilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, yeni nesil bir sump filtre gövdesi üzerinde 7 µm ve 41 µm gözenek açıklığına sahip mesh yapıların yıkama performansı üzerindeki etkileri, mevcut referans filtre ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre ortalama yıkama performansı indeksi referans filtre için 1.138, 7 µm prototip filtre için 1.074 ve 41 µm prototip filtre için 1.163 olarak belirlenmiştir. İncelenen konfigürasyonlar arasında en yüksek ortalama yıkama performansı indeksi 41 µm prototip filtrede elde edilmiş, bu değer referans filtreye kıyasla yaklaşık %2,2 daha yüksek bulunmuştur. Buna karşılık, 7 µm prototip filtrenin ortalama indeksi referans filtreye göre yaklaşık %5,6 daha düşük gerçekleşmiştir.

Elde edilen bulgular, mesh gözenek açıklığının tek başına yıkama performansını belirlemek için yeterli bir ölçüt olmadığını ve filtre konfigürasyonunun genel tasarım özellikleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bununla birlikte, prototip filtrelerin gövde tasarımının referans filtreden farklı olması, elde edilen performans sonuçlarının mesh gözenek açıklığı ve filtre tasarımı birlikte ele alınarak değerlendirilmesini önemli kılmaktadır. Performans farklılıklarının altında yatan mekanizmaların daha iyi anlaşılabilmesi için basınç

kaybı, su debisi ve partikül tutma kapasitesi gibi parametrelerin doğrudan ölçülmesi önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, 41 µm prototip filtre incelenen test koşullarında en yüksek ortalama yıkama performansı indeksini sağlamıştır. Bu sonuç, geliştirilen filtre konfigürasyonunun daha ayrıntılı incelenmesi ve mesh seçiminin filtrasyon davranışı ile yıkama performansı arasındaki ilişki açısından değerlendirilmesi için bir temel oluşturmaktadır. Gelecek çalışmalarda test tekrarlarının artırılması, farklı çalışma koşullarının incelenmesi ve uzun süreli filtrasyon davranışının değerlendirilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

[1] Ennen, G., Brænder, P., Terpstra, P. M. J., Rosén, G., Helstad, S., & Viöhr, W. (1995). Electric dishwashers for household use, methods for measuring the performance.

[2] Tang, J. S. (2016). Fine filter cleaner improves function. Filtration+ Separation, 53(5), 42-44.

[3] Tang, J. S. (2017). Dishwasher particle handling optimization. Filtration+ Separation, 54(1), 34-37.

[4] Datta, S., & Redner, S. (1998). Gradient clogging in depth filtration. Physical Review E, 58(2), R1203.

[5] Datta, S., & Redner, S. (2000). Failure behavior of a microfiltration membrane. Physical Review E, 61(1), 741.

[6] European Commission. (2020). Ecodesign and Energy Labelling: Case study on dishwashers. Brussels: Publications Office of the European Union

[7] Tang, J. S. (2019). Modelling Study of Dishwasher Hydraulic Filtration System. In Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science (pp. 349-355).

[8] Tewes, T. J., Harcq, L., & Bockmühl, D. P. (2023). Use of automatic dishwashers and their programs in Europe with a special focus on energy consumption. Clean Technologies, 5(3), 1067-1079.

[9] Brückner, A., & Stamminger, R. (2015). Consumer-relevant assessment of automatic dishwashing machines by a new testing procedure for 'automatic'programmes. Energy Efficiency, 8(1), 171-182.

[10] U.S. Department of Energy. (2023). Energy conservation program: Test procedure for dishwashers. Federal Register, 88(11), 2843–2862.

[11] Dixon, A. G. (2012). Pressure drop and flow through woven wire/mesh screens. Chemical Engineering Research and Design, 90(11), 1913–1921.

[12] Pérez-Mohedano, R., Letzelter, N., & Bakalis, S. (2015). Visualizing and quantifying cleaning processes in domestic dishwashers. Journal of Food Engineering, 158, 20–28.

[13] Richter, J., Kessler, A., Weber, T., Heißler, H., Gerstenlauer, M., Wüst, M., & Stamminger, R. (2021). Developing and testing a new quantitative near infrared spectroscopy online tracking measuring system for soil detection during automatic dishwashing. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 29(3), 179-187.

[14] Kim, J., & Lawler, D. F. (2012). The influence of hydraulic loads on depth filtration. Water research, 46(2), 433-441.

OPTIMIZING SVM PARAMETERS WITH ABC FOR OBESITY LEVEL CLASSIFICATION

Mehmet Safa BİNGÖL

Nigde Omer Halisdemir University,

msbingol@ohu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-4188-2025

Neslihan KIRNAP

Nuh Naci Yazgan University,

neslihankirnap@gmail.com - ORCID ID: 0009-0008-6162-3769

Ahmet KIRNAP

Erciyes University,

ahmetkirnap@erciyes.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-7685-5297

ABSTRACT

Obesity has recently been a significant public health issue worldwide. Early and accurate determination of individuals' obesity levels increases the effectiveness of health interventions. This study proposes the Support Vector Machines (SVM) method optimized with the Artificial Bee Colony (ABC) algorithm for classifying obesity levels. The Obesity Levels dataset used in the study contains 2111 individuals and 17 features, covering 7 different obesity categories (underweight, normal weight, overweight level I-II, obesity type I-II-III). The dataset was divided into three subsets, with 60% used for training, 20% for validation, and the remaining 20% for testing. In order to improve the performance of the SVM classifier, 2 critical hyperparameters of the Radial Basis Function (RBF) kernel are optimized. The Box Constraint (C) parameter was searched in the range of 0.01-250, and the Kernel Scale (Sigma) parameter was searched in the range of 0.001-20 using the ABC algorithm. The proposed method achieved a high accuracy rate in multiclass classification problems. Detailed performance analysis was provided by calculating precision, recall, and F1-score metrics for each obesity category. The confusion matrix results demonstrate that the model can successfully distinguish between all levels of obesity. This study shows that metaheuristic optimization algorithms can be effectively used in the hyperparameter tuning of machine learning models and can contribute to the development of decision support systems for obesity diagnosis.

Keywords: Artificial bee colony, obesity level, optimization, support vector machine.

1. INTRODUCTION

Obesity has grown into one of the defining public health problems of the present century. A pooled analysis covering more than 220 million people reported that the number of adults living with obesity exceeded one billion in 2022. The same analysis also found that obesity among children and adolescents increased approximately fourfold between 1990 and 2022 [1]. The condition rarely travels alone. It increases the risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, several cancers, and musculoskeletal disorders. Because excess adiposity develops slowly and often without obvious symptoms, identifying who is drifting toward an unhealthy weight category before clinical complications appear has become a priority for prevention.

For decades the body mass index has served as the default yardstick for classifying weight status. Because it is cheap and easy to compute. Yet a single ratio of mass to height says little about how a person actually lives. Two people with the same body mass index can differ sharply in diet, physical activity, family history, and metabolic profile. It is exactly these differences that shape long term risk. This limitation has pushed researchers toward data driven approaches that weigh many behavioral and physiological variables at once, and machine learning offers a natural framework for learning the complex, often nonlinear relationships among such features [2].

A growing body of work has applied machine learning to obesity assessment with encouraging results. Dutta et al. built a risk prediction pipeline in which a random forest classifier reached roughly 96% accuracy on health record data [3]. Alsareii et al. reported that gradient boosted trees exceeded 98% when predicting obesity level from electronic health records [4]. Other studies have deliberately tested whether lifestyle information alone is enough. Khater et al. classified obesity from eating habits and activity patterns and obtained about 86% accuracy with a random forest, without using weight or height [5]. Working on the same publicly available obesity dataset adopted in the present study, Genc and Arıcan compared several algorithms after dropping weight and height and again found tree based ensembles to be the strongest performers [2].

Support vector machines (SVM) occupy a particular place in literature. They tend to generalize well on the modest sized, high dimensional tables that are typical of lifestyle surveys. They stay competitive even when the number of records is limited. Görmez et al., for example, compared several models with SHAP and LIME explanations and found CatBoost the most accurate at around 94%, while keeping the model's reasoning transparent to clinicians [6]. Interpretability matters here, because a classifier that behaves as a black box is hard to trust in a clinical setting. The picture is complicated further by the fact that the weight of individual risk factors shifts with age and sex. So a model trained without regard to this heterogeneity may transfer poorly across population groups [7].

Performance, however, depends heavily on how a model is configured, and this is where optimization enters the discussion. Helforoush and Sayyad coupled a particle swarm optimizer with an artificial neural network and lifted classification accuracy to about 92%, showing how metaheuristic search can sharpen a learner [8]. Shaban et al. took a related route, using a quantum inspired bat algorithm to select the most informative features before classification [9]. A recent systematic review of artificial intelligence methods for obesity prediction confirms the

rapid expansion of the field. It also highlights a recurring weakness, as hyperparameter tuning is often treated as an afterthought and many studies rely on default settings or coarse grid searches [10].

This study addresses that gap directly. The two hyperparameters that most strongly govern a SVM with a radial basis function (RBF) kernel were optimized using the artificial bee colony (ABC) algorithm. These hyperparameters include the box constraint and the kernel scale. Instead of probing the hyperparameter space by hand, the colony was utilized to explore the space and settle on a configuration that maximizes validation accuracy, which was then evaluated on a held-out test set for the seven class obesity problem.

2. MATERIAL AND METHODS

The classifier at the center of this work is the SVM, a supervised method introduced by Cortes and Vapnik that separates classes by fitting the decision boundary with the widest possible margin between them [11]. Rather than accepting any boundary that splits the training data, the algorithm looks for the hyperplane that sits as far as possible from the nearest examples of each class. Those nearest examples, the support vectors, are the only points that ultimately shape the boundary. This margin maximizing principle gives the method a built in resistance to overfitting and helps explain its strong generalization on small and medium sized datasets.

Because the borders between obesity categories are not linearly separable, an RBF kernel is used, which maps the input features into a higher dimensional space where a linear separator becomes possible. Two hyperparameters control the behavior of this setup. The box constraint, usually written as C, fixes the penalty for misclassified training points. A large value forces the model to fit the training data closely and risks overfitting, while a small value tolerates more errors in return for a smoother, more general boundary. The kernel scale governs the reach of each RBF and therefore how flexible or rigid the decision surface becomes. Since the obesity problem involves seven classes, multiclass prediction is handled with a one versus one scheme, in which a separate binary model is trained for every pair of classes and the final label is decided by majority vote.

Selecting appropriate values for these two hyperparameters is itself an optimization problem. This problem was solved using the ABC algorithm proposed by Karaboga and Basturk [12]. The method imitates the foraging behavior of honey bees and splits an artificial colony into three roles. Employed bees exploit known food sources, onlooker bees lean probabilistically toward the more promising of those sources, and scout bees abandon exhausted sources to search new regions at random. In our setting each food source corresponds to a candidate pair of hyperparameter values, and its quality is measured by the validation accuracy that the SVM achieves with those settings. The appeal of the algorithm needs only a few control parameters, requires no gradient information, and balances exploration of the search space against exploitation of good solutions. Figure 1 gives a graphical abstract of the proposed scheme for obesity level classification.

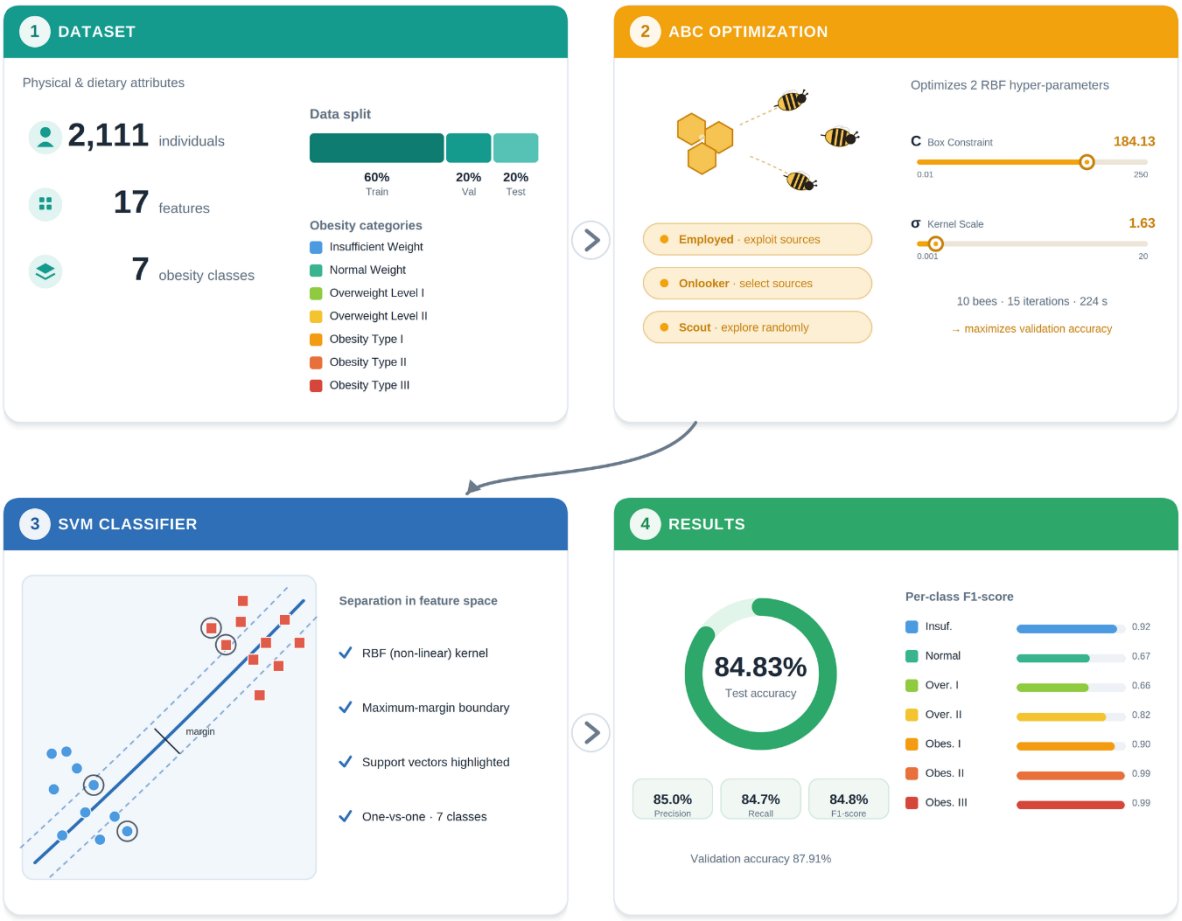


Figure 1. Graphical abstract of the proposed scheme

Pairing metaheuristics with machine learning models in this way is well established. Ali et al. surveyed hyperparameter search strategies and showed that population based optimizers can cut the computational cost of tuning while improving accuracy across several algorithms [13]. The bee colony approach in particular has proved versatile. Erkan et al. used it to tune the hyperparameters of a deep convolutional network for plant species identification [14], and Pang et al. applied it to optimize both the penalty factor and the kernel parameter of a SVM for short term load forecasting, reporting clear gains over an untuned baseline [15]. Based on these precedents, the same optimizer was selected for the obesity classification task.

3. SIMULATION RESULTS

In this study, obesity level of individuals was predicted using SVM algorithm optimized with ABC. Obesity level dataset was used for this purpose [16]. This dataset contains information for estimating obesity levels in people from Mexico, Peru, and Colombia based on their physical and dietary characteristics. The class variable NObesity (Obesity Level) is used to classify the data using the values of Insufficient Weight, Normal Weight, Overweight Level I, Overweight Level II, Obesity Type I, Obesity Type II, and Obesity Type III. There are a total of 7 classes in the dataset. The distributions of 7 classes are provided in Table 1. The data comprises 2111 records and 17 attributes. 23% of the data was gathered directly from consumers via a web platform, while 77% of the data was created artificially using the Weka tool and the SMOTE filter. The features in the dataset and their value ranges are given in Table 2.

Table 1. Distributions of 7 classes

Class	Number of Sample	Percentage (%)
Insufficient Weight	272	12.9
Normal Weight	287	13.6
Overweight Level I	290	13.7
Overweight Level II	290	13.7
Obesity Type I	351	16.6
Obesity Type II	297	14.1
Obesity Type III	324	15.3

Table 2. Features and value ranges of dataset

Feature Name	Description
Gender	-
Age	-
Height	-
Weight	-
Family history with overweight	Has a family member suffered or suffers from overweight?
FAVC	Do you eat high caloric food frequently?
FCVC	Do you usually eat vegetables in your meals?
NCP	How many main meals do you have daily?
CAEC	Do you eat any food between meals?
SMOKE	Do you smoke?
CH2O	How much water do you drink daily?
SCC	Do you monitor the calories you eat daily?
FAF	How often do you have physical activity?
TUE	How much time do you use technological devices such as cell phone, videogames, television, computer and others?
CALC	How often do you drink alcohol?
MTRANS	Which transportation do you usually use?
NObeyesdad	Obesity level

The dataset used for classification with SVM has been divided into three subsets: 60% training, 20% validation, and 20% testing. In order to improve the performance of the SVM classifier, two critical hyperparameters of the RBF kernel have been optimized. The Box Constraint (C) parameter was optimized in the range of 0.01-250, and the Kernel Scale (Sigma) parameter was optimized in the range of 0.001-20 using the ABC algorithm. In the ABC algorithm, the number of bees was set to 10, and the maximum iteration was set to 15. The optimization was completed in 224.46 seconds. The optimal hyperparameters obtained as a result of the optimization are given in Table 3.

Table 3. The obtained optimal hyperparameters

Hyperparameter	Value
C (Box Constraint)	184.13
Sigma (Kernel Scale)	1.63

The validation accuracy value was obtained as 87.91%, and the test accuracy value as 84.83%. Both the precision, recall, and F1-score values for each class in the test dataset and the average precision, recall, and F1-score values are shown in Figure 2.

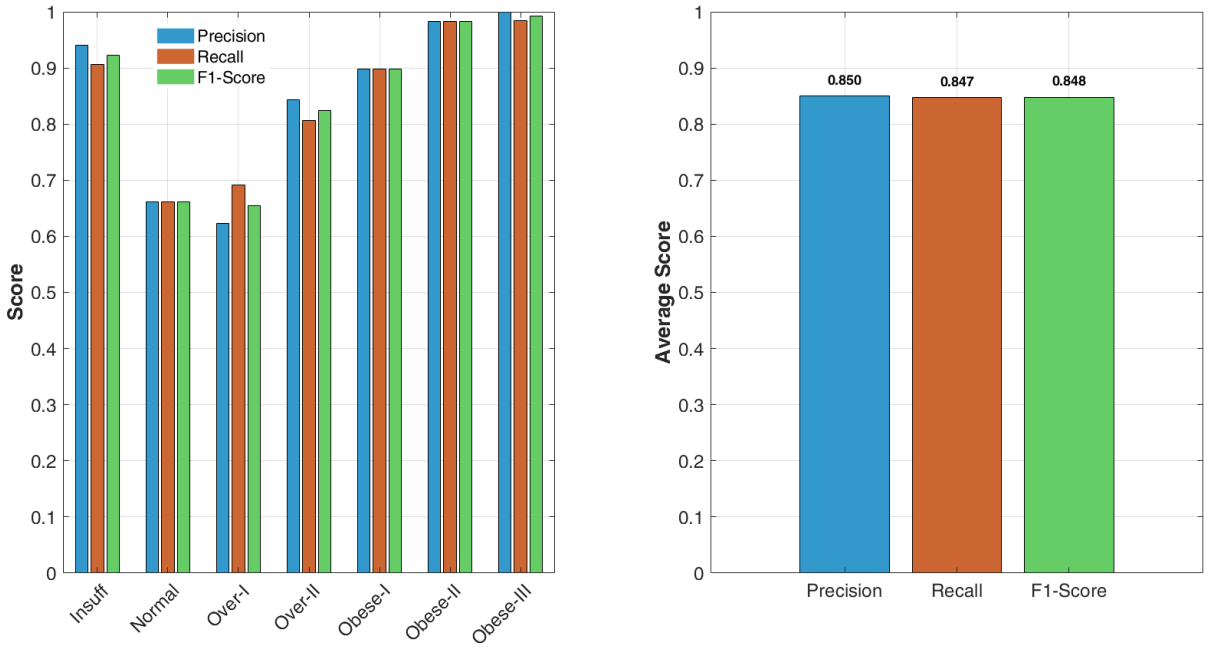


Figure 2. Class based and average performance metrics of the ABC-SVM model

Figure 2 shows the precision, recall, and F1-score metrics for each of the 7 obesity categories. The Obesity Type II and Type III classes exhibit the highest performance with values above 99% for all three metrics. The Normal Weight and Overweight Level I classes show relatively low performance in the 66-69% range. The Insufficient Weight and Overweight Level II categories offer balanced performance in the range of 82-94%. Analyzing the average performance metrics calculated for all classes, a balanced and consistent classification performance was achieved with 85.0% precision, 84.7% recall, and 84.8% F1-score. These results demonstrate that the ABC-SVM model can distinguish most obesity categories with high accuracy and generally provides reliable classification performance. Figure 3 shows the confusion matrix data for the test set.

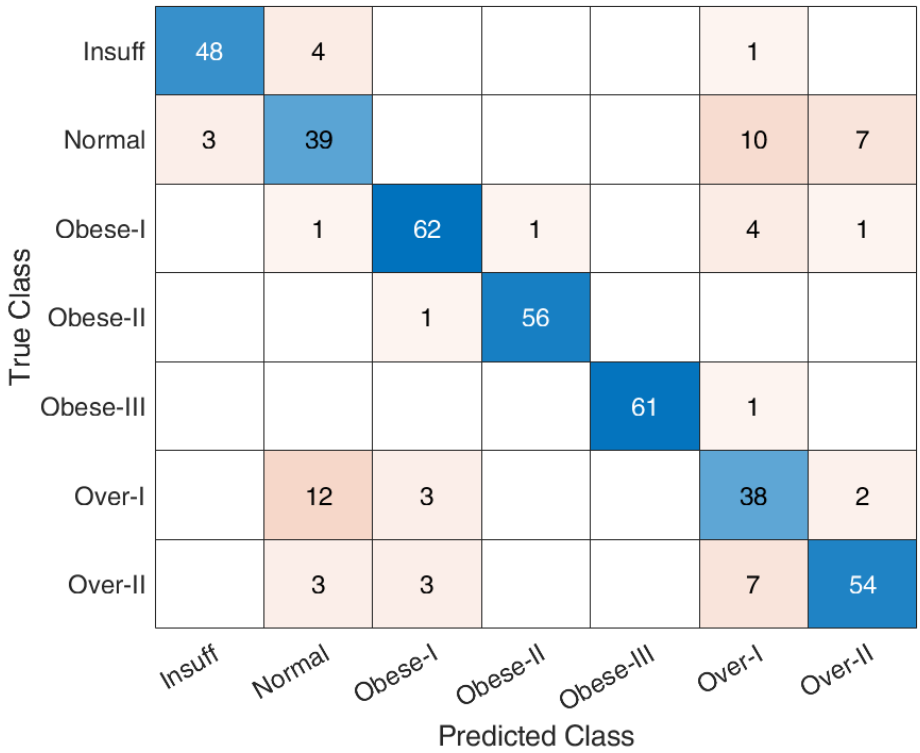


Figure 3. Confusion matrix of the ABC-SVM model's test set

The dark blue cells on the diagonal of the confusion matrix represent correct classifications, with the Insufficient Weight (48/53), Obesity Type I (62/69), Obesity Type II (56/57), and Obesity Type III (61/62) categories being classified correctly at a high rate. Relatively more misclassifications are observed in the Normal Weight and Overweight Level I-II categories, particularly with 10 examples of the Normal Weight class being predicted as Overweight Level I and 7 examples as Overweight Level II. Although the SVM model tends to confuse obesity levels that are close to each other (e.g., Overweight Level I with Normal Weight or Overweight Level II), it generally exhibits balanced and reliable classification performance.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, the SVM method optimized with the ABC algorithm was successfully applied for the classification of obesity levels. On a dataset consisting of 2111 individuals, the ABC algorithm optimized the critical hyperparameters of SVM (C: 184.13, Sigma: 1.63) in approximately 3.7 minutes, achieving 87.91% accuracy on the validation set. The proposed ABC-SVM model achieved an accuracy rate of 84.83% on an unseen test set. The model's average precision (85.0%), recall (84.7%), and F1-score (84.8%) values demonstrate balanced and consistent classification performance. Class based analyses revealed that the Obesity Type II and Type III categories showed the highest performance with over 99% accuracy, while the Normal Weight and Overweight Level I categories showed relatively low performance in the 66-69% range. This is due to obesity levels that are close to each other exhibiting similar characteristics in the feature space. The results demonstrate the potential of the proposed method to be used as an auxiliary tool in clinical decision support systems. However, the low performance in the Normal Weight and Overweight Level I categories emphasizes that expert physician evaluation is still necessary in critical borderline regions. Limitations of the study include the limited dataset size and the use of only the RBF kernel function. In conclusion, this study has demonstrated that metaheuristic optimization algorithms are valuable tools for

improving the performance of machine learning models and can contribute to the development of decision support systems for important public health issues such as obesity. The ABC-SVM method emphasizes the importance of hyperparameter optimization and provides a reliable classification tool that can be integrated into clinical applications.

References

[1] NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). (2024). Worldwide trends in underweight and obesity from 1990 to 2022: A pooled analysis of 3663 population-representative studies with 222 million children, adolescents, and adults. The Lancet, 403(10431), 1027–1050. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)02750-2

[2] Genc, A. C., & Arıcan, E. (2025). Obesity classification: A comparative study of machine learning models excluding weight and height data. Revista da Associação Médica Brasileira, 71(1), Article e20241282. https://doi.org/10.1590/1806-9282.20241282

[3] Dutta, R. R., Mukherjee, I., & Chakraborty, C. (2024). Obesity disease risk prediction using machine learning. International Journal of Data Science and Analytics. https://doi.org/10.1007/s41060-023-00491-9

[4] Alsareii, S. A., Awais, M., Alamri, A. M., AlAsmari, M. Y., Irfan, M., Raza, M., & Manzoor, U. (2023). Machine-learning-enabled obesity level prediction through electronic health records. Computer Systems Science and Engineering, 46(3), 3715–3728. https://doi.org/10.32604/csse.2023.035687

[5] Khater, T., Tawfik, H., & Singh, B. (2023). Machine learning for the classification of obesity levels based on lifestyle factors. In Proceedings of the 2023 7th International Conference on Cloud and Big Data Computing (ICCBDC ’23). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3616131.3616135

[6] Görmez, Y., Yagin, F. H., Yagin, B., Aygun, Y., Boke, H., Badicu, G., De Sousa Fernandes, M. S., Alkhateeb, A., Al-Rawi, M. B. A., & Aghaei, M. (2025). Prediction of obesity levels based on physical activity and eating habits with a machine learning model integrated with explainable artificial intelligence. Frontiers in Physiology, 16, Article 1549306. https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1549306

[7] Jeon, J., Lee, S., & Oh, C. (2023). Age-specific risk factors for the prediction of obesity using a machine learning approach. Frontiers in Public Health, 10, Article 998782. https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.998782

[8] Helforoush, Z., & Sayyad, H. (2024). Prediction and classification of obesity risk based on a hybrid metaheuristic machine learning approach. Frontiers in Big Data, 7, Article 1469981. https://doi.org/10.3389/fdata.2024.1469981

[9] Shaban, W. M., El-Din Moustafa, H., & El-Seddek, M. M. (2025). Machine learning framework for predicting susceptibility to obesity. Scientific Reports, 15, Article 35040. https://doi.org/10.1038/s41598-025-20505-9

[10] Rostam Niakan Kalhori, S., Najafi, F., Hasannejadasl, H., & Heydari, S. (2025). Artificial intelligence-enabled obesity prediction: A systematic review of cohort data analysis. International Journal of Medical Informatics, 196, Article 105804. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2025.105804

[11] Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. Machine Learning, 20(3), 273–297. https://doi.org/10.1007/BF00994018

[12] Karaboga, D., & Basturk, B. (2007). A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm. Journal of Global Optimization, 39(3), 459–471. https://doi.org/10.1007/s10898-007-9149-x

[13] Ali, Y. A., Awwad, E. M., Al-Razgan, M., & Maarouf, A. (2023). Hyperparameter search for machine learning algorithms for optimizing the computational complexity. Processes, 11(2), Article 349. https://doi.org/10.3390/pr11020349

[14] Erkan, U., Toktas, A., & Ustun, D. (2023). Hyperparameter optimization of deep CNN classifier for plant species identification using artificial bee colony algorithm. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 14(7), 8827–8838. https://doi.org/10.1007/s12652-021-03631-w

[15] Pang, X., Sun, W., Li, H., Wang, Y., & Luan, C. (2022). Short-term power load forecasting based on gray relational analysis and support vector machine optimized by artificial bee colony algorithm. PeerJ Computer Science, 8, Article e1108. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1108

[16] Palechor & de la Hoz Manotas (2019), Data in Brief 25:104344 https://archive.ics.uci.edu/dataset/544/estimation+of+obesity+levels+based+on+eating+habits+and+physical+condition (Access date: 18.09.2026)

FARKLI FREN DİSKİ GEOMETRİLERİ VE MALZEMELERİNİN GEÇİCİ REJİM ISIL PERFORMANSININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

Rümeysa Sena SAYOĞLU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği ABD (Yüksek Lisans Öğrencisi)

sena.rssayoglu@gmail.com - 0009-0005-9256-4579

Dr. Öğr. Üyesi Memduh SUVEREN

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü

msuveren@erciyes.edu.tr - 0000-0003-4545-5378

Doç. Dr. Emir ESİM

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü

emiresim@erciyes.edu.tr - 0000-0003-0801-9155

ÖZET

Frenleme sırasında oluşan ısıl yükler, fren disklerinde zamana bağlı sıcaklık dağılımlarının gelişmesine ve disk içerisindeki ısı transferinin değişmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada düz, delikli ve kanallı fren diski geometrilerinin geçici rejim ısıl davranışları sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Üç geometri dökme demir malzeme ile analiz edilmiş; ayrıca delikli ve kanallı geometriler karbon seramik malzeme kullanılarak değerlendirilmiştir. Analizler ANSYS Workbench Transient Thermal modülünde gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılabilirliği sağlamak amacıyla beş modelde de aynı termal sınır şartları uygulanmıştır. Doğal konveksiyon için literatüre dayalı olarak h = 5 W/(m².K) sabit konveksiyon katsayısı kullanılmıştır. Sonuçlar maksimum sıcaklık, t = 10 s anındaki ortalama sıcaklık, sıcaklık dağılımı ve toplam ısı akısı üzerinden değerlendirilmiştir. Dökme demir disklerde maksimum sıcaklık düz geometride 231,14 °C, delikli geometride 220,00 °C ve kanallı geometride 200,55 °C olarak elde edilmiştir. Delikli geometride karbon seramik kullanımı ortalama sıcaklıkta belirgin bir fark sağlamazken, kanallı geometride ortalama sıcaklık 150,30 °C'den 72,68 °C'ye düşmüştür. Bununla birlikte, uygulanan sıcaklık sınır şartı nedeniyle maksimum sıcaklık değerleri tek başına bir performans göstergesi olarak yorumlanmamıştır. Bulgular, daha düşük maksimum sıcaklığın tek başına daha iyi genel termal davranış anlamına gelmediğini ve malzeme etkisinin disk geometrisine bağlı olduğunu; dolayısıyla geometri–malzeme etkileşiminin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fren Diski, Geçici Rejim Isıl Analiz, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Dökme Demir, Karbon Seramik, ANSYS.

COMPARISON OF THE TRANSIENT THERMAL PERFORMANCE OF DIFFERENT BRAKE DISC GEOMETRIES AND MATERIALS USING THE FINITE ELEMENT METHOD

ABSTRACT

Thermal loading during braking produces time-dependent temperature distributions in brake discs and alters heat transfer within the disc. In this study, the transient thermal responses of solid, drilled, and ventilated brake-disc geometries were comparatively investigated using the finite element method. All three geometries were analyzed with cast iron, while the drilled and ventilated configurations were additionally evaluated using a carbon-ceramic material. The analyses were performed in ANSYS Workbench using the Transient Thermal module, and identical thermal boundary conditions were applied to all five models to ensure comparability. A constant natural-convection coefficient of h = 5 W/(m².K) was adopted based on literature data. The results were evaluated in terms of maximum temperature, average temperature at t = 10 s, temperature distribution, and total heat flux. For the cast-iron discs, the maximum temperatures were 231.14 °C for the solid disc, 220.00 °C for the drilled disc, and 200.55 °C for the ventilated disc. The use of carbon ceramic in the drilled geometry did not provide a marked reduction in average temperature, whereas the average temperature of the ventilated configuration decreased from 150.30 °C to 72.68 °C. However, because a prescribed temperature boundary condition was used, maximum temperature values were not interpreted as a stand-alone performance indicator. The findings show that brake-disc thermal response cannot be characterized by maximum temperature alone; the influence of material selection strongly depends on disc geometry, indicating a coupled geometry–material effect under identical thermal boundary conditions.

Keywords: Brake Disc, Transient Thermal Analysis, Finite Element Method, Cast Iron, Carbon Ceramic, ANSYS.

1. GİRİŞ

Fren sistemleri, taşıt ve makine sistemlerinde hareket enerjisinin kontrollü biçimde azaltılmasını sağlayan kritik güvenlik bileşenleridir. Disk frenlerde balata-disk arayüzünde oluşan sürtünme, mekanik enerjinin önemli bir bölümünü kısa sürede ısıya dönüştürür. Bu geçici ısıl yükleme disk yüzeyinde hızlı sıcaklık artışlarına, disk kalınlığı ve yarıçapı boyunca sıcaklık gradyanlarına ve buna bağlı olarak termal gerilme potansiyeline neden olur. Isının yeterli hızda yayılıp çevreye aktarılamaması; fren zayıflaması, termal yorulma, yüzey hasarı ve çatlak oluşumu gibi performans ve dayanım sorunlarını artırabilir. Bu nedenle fren diski tasarımında yalnızca mekanik dayanımın değil, zamana bağlı sıcaklık alanının ve ısı transfer davranışının da değerlendirilmesi gerekmektedir [1,2,5,6].

Fren diskinin geometrisi, ısı iletim yollarını, etkin yüzey alanını ve sıcaklık gradyanlarının yerel dağılımını değiştiren temel tasarım parametrelerinden biridir. Düz diskler karşılaştırmalar için yalın bir referans oluştururken, delikler ve havalandırma kanalları sıcaklık alanında yerel değişimlere ve farklı ısı iletim yollarına neden olabilmektedir. Literatürde tam/düz ve havalandırmalı disklerin termal davranışlarının farklılaştığı, ayrıca havalandırma geometrisinin sıcaklık dağılımı üzerinde belirgin etkiler oluşturabildiği gösterilmiştir [3,4]. Delik açısı ve malzeme varyasyonlarını birlikte inceleyen sonlu eleman çalışmaları da geometrik tasarım ile malzeme seçiminin birbirinden bağımsız ele alınmaması gerektiğine işaret etmektedir [8].

Malzemenin yoğunluğu, özgül ısı kapasitesi ve ısıl iletkenliği, aynı termal yük altında sıcaklığın yükselme hızını ve disk içerisindeki yayılımını doğrudan etkiler. Dökme demir, üretilebilirlik ve termomekanik özellikleri nedeniyle fren disklerinde yaygın bir referans malzeme iken, karbon seramik esaslı malzemeler yüksek sıcaklık uygulamalarında alternatif oluşturmaktadır. Bununla birlikte, bir malzemenin daha yüksek veya daha düşük sıcaklık göstermesi yalnızca malzeme özelliğine bağlanamaz; geometri, sınır şartları ve ısı transfer mekanizmaları sonuç üzerinde birlikte etkilidir. Bu nedenle malzeme karşılaştırmasının aynı geometri ve aynı sınır şartları altında yapılması, malzeme etkisinin daha kontrollü yorumlanmasına olanak sağlar [7,8].

Mevcut çalışmalar fren disklerinin termal davranışını farklı yükleme, geometri ve malzeme tanımlarıyla ayrıntılı biçimde ele almakla birlikte [1–8], karşılaştırmalı bir sayısal çalışmada geometri ve malzeme etkilerinin aynı sınır şartları altında ayrıştırılması önemini korumaktadır. Ayrıca güncel çalışmalar, fren diski sıcaklığının yalnızca son zaman adımındaki tek bir maksimum değer üzerinden değil, geçici sıcaklık gelişimi ve deneysel/sayısal uyum çerçevesinde değerlendirilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır [9,10]. Durağan veya düşük hava hareketli koşullarda konvektif ısı kaybının ayrıca tanımlanması da sınır şartlarının karşılaştırılabilirliği açısından önemlidir [11].

Bu çalışmanın amacı, düz, delikli ve kanallı fren diski geometrileri ile dökme demir ve karbon seramik malzemelerin geçici rejim ısıl davranışlarını ortak bir sonlu elemanlar çerçevesinde karşılaştırmaktır. Çalışmada özellikle; (i) üç geometrinin dökme demir için aynı termal sınır şartları altında karşılaştırılması, (ii) delikli ve kanallı geometrilerde malzeme etkisinin dökme demir-karbon seramik çiftleri üzerinden ayrı olarak incelenmesi ve (iii) sonuçların yalnızca maksimum sıcaklıkla değil, t = 10 s ortalama sıcaklığı, zamana bağlı ortalama sıcaklık ve toplam ısı akısı ile birlikte incelenmiştir. Böylece amaç tek bir “en iyi” disk tanımlamak değil, geometri-malzemeye bağlı termal göstergelerin hangi koşullarda farklılaştığını ortaya koymaktır.

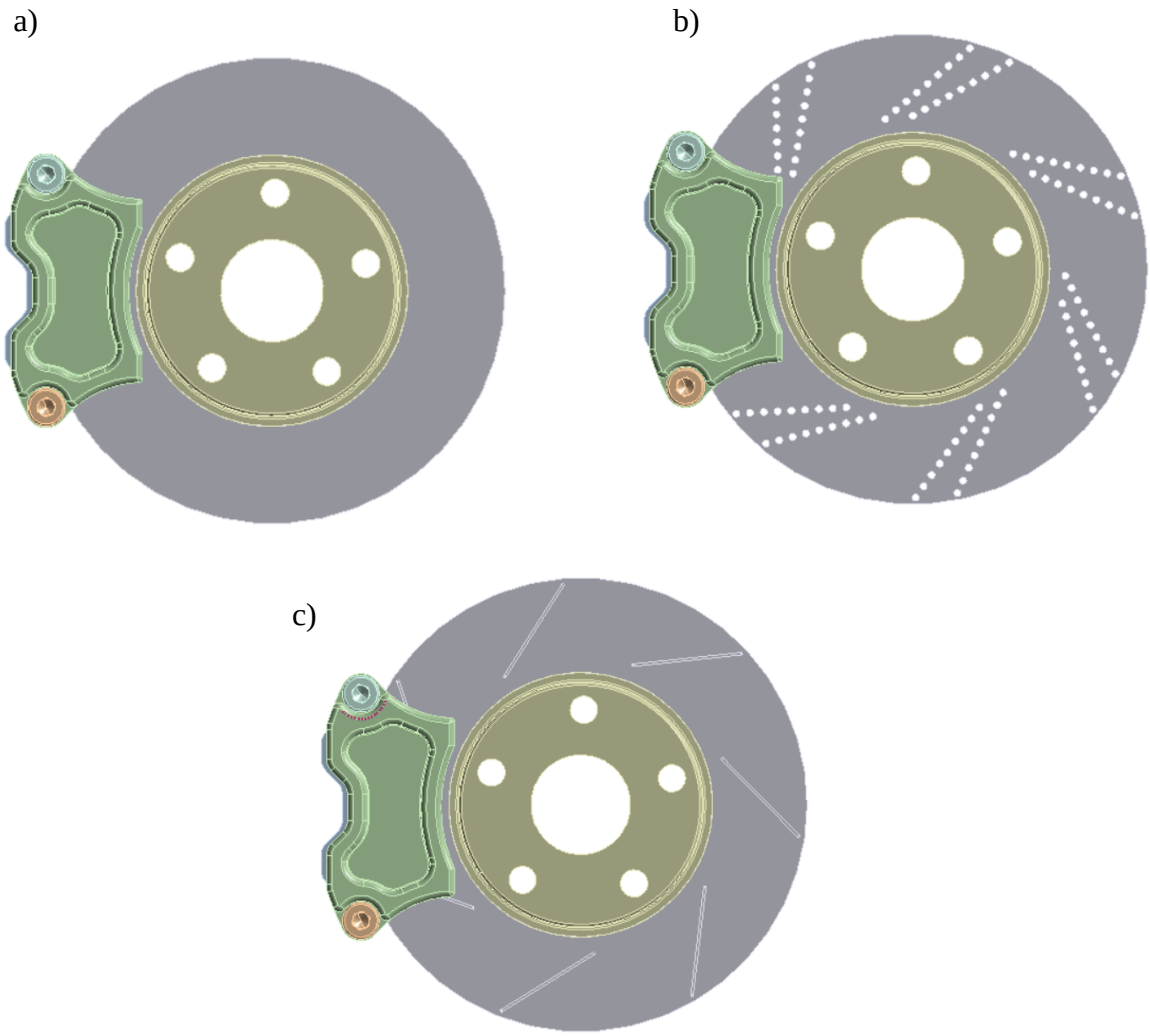
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Analiz yaklaşımı

Sayısal incelemeler ANSYS Workbench ortamında Transient Thermal modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada mekanik gerilme veya deformasyon analizi yapılmamış, yalnızca zamana bağlı ısıl davranış incelenmiştir. Geometri ve malzeme etkilerinin karşılaştırılabilir biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla beş modelde de aynı analiz süresi, zaman adımı, başlangıç ve çevre sıcaklığı, zamana bağlı sıcaklık sınır şartı ve konveksiyon katsayısı kullanılmıştır. Böylece elde edilen farklılıkların, tanımlanan sayısal model kapsamında, geometri ve malzeme değişimleriyle ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır.

2.2. Fren diski geometrileri ve analiz konfigürasyonları

Çalışmada üç temel disk geometrisi kullanılmıştır: düz disk, delikli disk ve kanallı disk. Analizlerde kullanılan CAD geometrileri Görsel 1'de gösterilmiştir. Dökme demir üç geometriye de atanmış; malzeme etkisini ayrıca incelemek amacıyla delikli ve kanallı geometriler karbon seramik ile tekrar analiz edilmiştir. Böylece toplam beş analiz konfigürasyonu oluşturulmuştur. Bu konfigürasyonlar ve her bir modelin karşılaştırmadaki rolü Çizelge 1'de özetlenmiştir. Çizelge 1'deki düzenleme, ilk üç model üzerinden geometri etkisinin, aynı geometriye sahip dökme demir-karbon seramik çiftleri üzerinden ise malzeme etkisinin ayrı ayrı değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.



Görsel 1. Analizlerde kullanılan fren diski geometrileri: (a) düz disk, (b) delikli disk ve (c) kanallı disk.

Çizelge 1. Analizlerde kullanılan disk geometrisi–malzeme konfigürasyonları ve karşılaştırmadaki rolleri.

No	Geometri	Malzeme	Karşılaştırmadaki rolü
1	Düz	Dökme demir	Geometri karşılaştırması / referans
2	Delikli	Dökme demir	Geometri karşılaştırması
3	Kanallı	Dökme demir	Geometri karşılaştırması
4	Delikli	Karbon seramik	Malzeme karşılaştırması
5	Kanallı	Karbon seramik	Malzeme karşılaştırması

2.3. Malzeme özellikleri

Dökme demire ait termofiziksel özellikler ANSYS Workbench Engineering Data kütüphanesinde yer alan EN-GJL-100 dökme demir malzemesinden alınmıştır. Analizlerde yoğunluk 6999 kg/m³, ısıl iletkenlik 60 W/(m.K) ve özgül ısı kapasitesi 499,6 J/(kg.K) olarak kullanılmıştır. Karbon seramik için kullanıcı tanımlı malzeme özellikleri kullanılmış; yoğunluk 2000 kg/m³, ısıl iletkenlik 56 W/(m.K) ve özgül ısı kapasitesi 900 J/(kg.K) olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 2. Termal analizlerde kullanılan dökme demir ve karbon seramik malzeme özellikleri.

Malzeme	Yoğunluk (kg/m³)	Isıl iletkenlik (W/(m.K))	Özgül ısı Cp (J/(kg.K))
Dökme demir	6999	60	499,6
Karbon seramik	2000	56	900

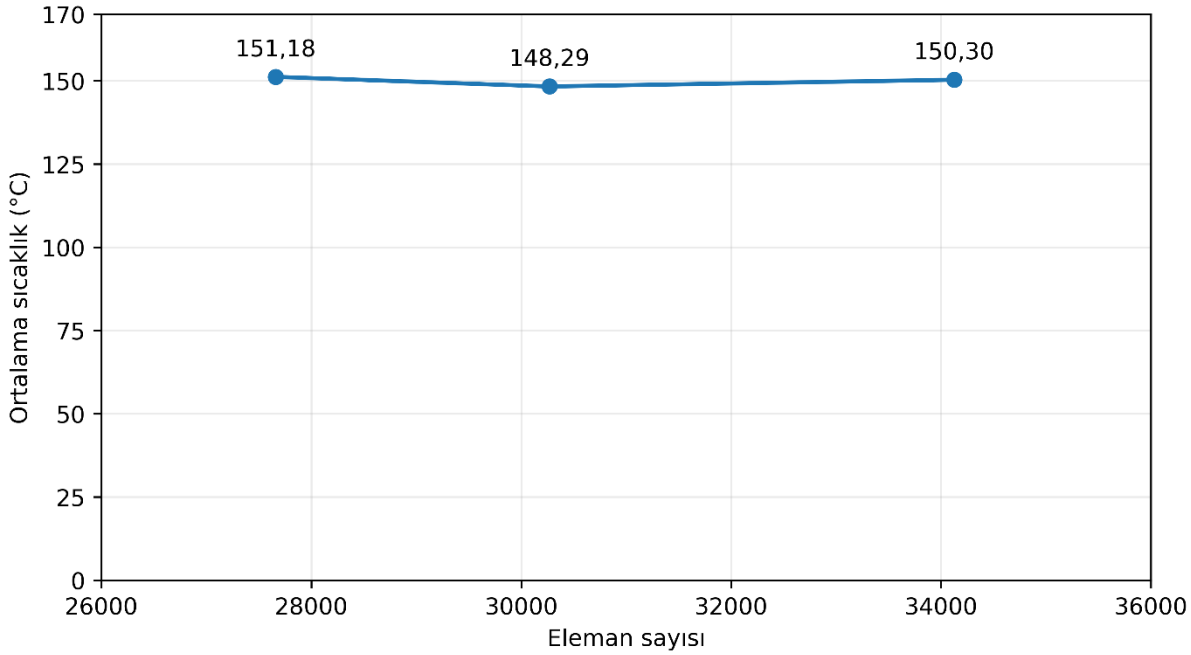
2.4. Sonlu eleman modeli ve ağ yapısı

Her disk geometrisi için sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve termal analizlerde ANSYS Mechanical'ın Adaptive Sizing yaklaşımı kullanılarak ağ yapısı oluşturulmuştur. Global eleman boyutu kullanıcı tarafından sabit bir değer olarak tanımlanmamış, eleman boyutları geometrik özelliklere bağlı olarak yazılım tarafından otomatik olarak belirlenmiştir. Özellikle delik ve kanal gibi geometrik detayların bulunduğu bölgelerde ağ yapısının geometriye uyum sağlayacak şekilde oluşturulması sağlanmıştır.

Ağ yoğunluğunun çözüm sonuçları üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla kanallı–dökme demir disk modeli temsilî model olarak seçilmiş ve kaba, mevcut ve ince olmak üzere üç farklı ağ seviyesi incelenmiştir. Maksimum sıcaklık uygulanan sıcaklık sınır şartından doğrudan etkilenebildiği için yakınsama kriteri olarak t = 10 s anındaki ortalama disk sıcaklığı kullanılmıştır. Kaba, mevcut ve ince ağ yapılarında sırasıyla 27.660, 30.270 ve 34.125 eleman; 54.698, 59.073 ve 64.890 düğüm kullanılmıştır. Bu ağ seviyelerinde ortalama sıcaklıklar sırasıyla 151,18 °C, 148,29 °C ve 150,30 °C olarak elde edilmiştir. Kaba–mevcut ağ seviyeleri arasındaki değişim %1,95, mevcut–ince ağ seviyeleri arasındaki değişim ise %1,33'tür. Son iki ağ seviyesindeki düşük değişim, incelenen ortalama sıcaklık göstergesinin ağ yoğunluğuna karşı sınırlı duyarlılık sergilediğini göstermektedir. Mevcut ağ yapısı, hesaplama maliyeti ile sonuç kararlılığı arasındaki denge dikkate alınarak nihai çözüm ağı olarak değerlendirilmiştir. Ağ bağımsızlığı sonuçları Çizelge 3'te, element sayısına bağlı ortalama sıcaklık değişimi ise Görsel 2'de verilmiştir.

Çizelge 3. Kanallı–dökme demir temsilî model için ağ yakınsama sonuçları.

Mesh seviyesi	Düğüm sayısı	Eleman sayısı	Ortalama sıcaklık (°C)	Değişim (%)
Kaba	54.698	27.660	151,18	–
Mevcut	59.073	30.270	148,29	1,95
İnce	64.890	34.125	150,30	1,33



Görsel 2. Element sayısına bağlı ortalama sıcaklık değişimi için ağ yakınsama sonucu.

Farklı malzemeye sahip aynı disk geometrilerinde aynı ağ yaklaşımı korunarak malzeme etkisinin ortak sayısal koşullar altında karşılaştırılması amaçlanmıştır. Delik ve kanal gibi geometrik ayrıntıların bulunduğu bölgelerde Adaptive Sizing yaklaşımı ile geometrik özelliklere uyumlu yerel ağ yoğunluğu oluşturulmuştur.

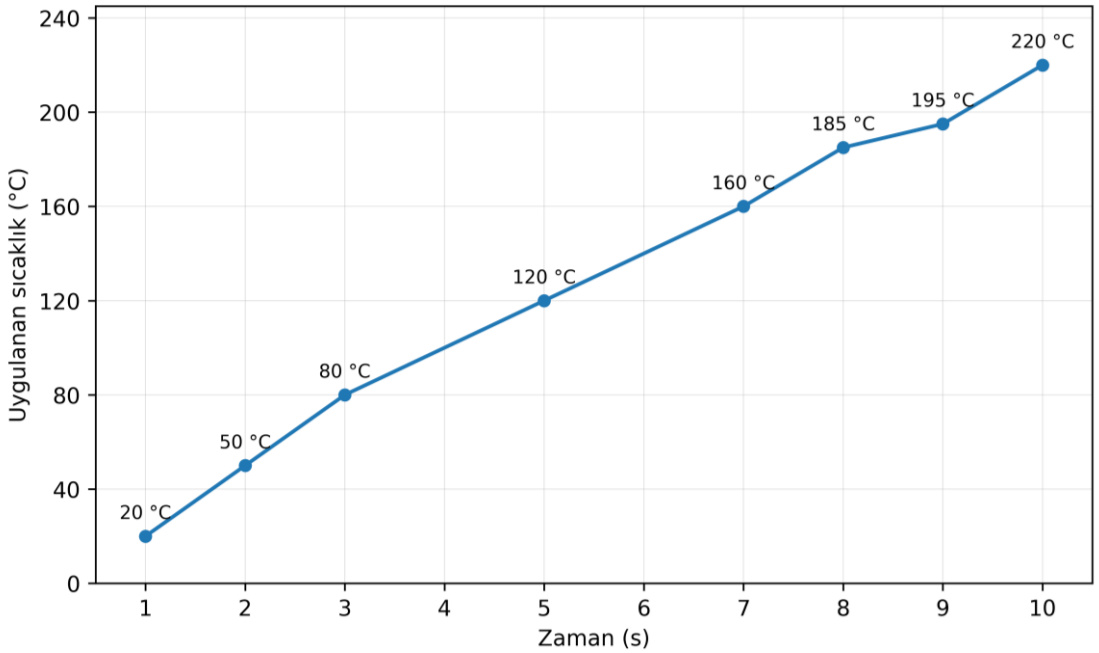
2.5. Sınır şartları ve geçici rejim ısıl çözüm

Frenleme sırasında oluşan termal etki, disk yüzeylerine zamana bağlı sıcaklık sınır şartı uygulanarak modellenmiştir. Bu çalışmanın amacı gerçek bir frenleme çevrimindeki sürtünme ısı üretimini yeniden oluşturmak değil, geometri ve malzeme etkilerini aynı termal geçmiş altında kontrollü olarak karşılaştırmaktır. Bu nedenle 10 s'lik ortak analiz penceresi ve 20–220 °C arasında artan sıcaklık geçmişi, beş modelin aynı geçici termal uyarı altında karşılaştırılmasını sağlayan çalışma senaryosu olarak kullanılmıştır. Başlangıç ve çevre sıcaklığı 22 °C olarak tanımlanmış; diskten çevreye ısı transferi doğal konveksiyon ile temsil edilmiştir. Topouris ve ark. [11], durağan yolcu aracı fren disklerinde incelenen tasarım ve sıcaklık aralığı için konvektif ısı transfer katsayısının tipik olarak yaklaşık 3–5 W/(m².K) düzeyinde olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada kontrollü bir karşılaştırma sağlamak ve geometriye özgü bir CFD modeli kullanılmadığı için bu aralığın üst değeri olan h = 5 W/(m².K) tüm modellerde sabit tutulmuştur. Zaman adımının 0,1 s seçilmesi, 10 s'lik sıcaklık gelişiminin 100 çözüm adımı boyunca izlenmesine ve modellerin zamana bağlı ortalama sıcaklık eğrilerinin aynı zaman çözünürlüğünde karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Bu parametrelerin sabit tutulması, sonuçlardaki farklılıkların sınır şartı değişiminden değil geometri ve malzeme değişiminden kaynaklanmasını hedefleyen kontrollü karşılaştırma tasarımının temelidir. Kullanılan ortak termal sınır şartları ve çözüm parametreleri Çizelge 4'te, zamana bağlı sıcaklık programı Görsel 3'te verilmiştir.

Çizelge 4. Tüm fren diski modellerinde ortak kullanılan termal sınır şartları ve çözüm parametreleri.

Parametre	**Değer**
Başlangıç Sıcaklığı	22 °C
Çevre Sıcaklığı	22 °C
Konveksiyon Katsayısı	5 W/(m².K)
Analiz Süresi	10 s
Zaman Adımı	0,1 s
Uygulanan Sıcaklık Aralığı	20–220 °C

Sıcaklık sınır şartı analiz süresince zamana bağlı olarak artırılmış ve 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9 ve 10. saniyelerde sırasıyla 20, 50, 80, 120, 160, 185, 195 ve 220 °C olarak uygulanmıştır. Uygulanan sıcaklık-zaman tanımı Görsel 3'te verilmiştir. Tüm disk geometrileri ve malzeme modellerinde aynı sınır şartları kullanılarak sonuçların karşılaştırılabilirliği sağlanmıştır. ANSYS ortamında tüm modeller için kullanılan h = 5 W/(m².K) konveksiyon tanımı ve T∞ = 22 °C çevre sıcaklığı Görsel 4'te gösterilmiştir.



Görsel 3. Tüm fren diski modellerine uygulanan zamana bağlı sıcaklık sınır şartı.

İzotropik ve homojen bir malzeme için zamana bağlı ısı iletimi,

$$\rho\, C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \qquad (1)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada ρ yoğunluk, Cp özgül ısı kapasitesi, k ısıl iletkenlik katsayısı, T sıcaklık ve Q hacimsel ısı üretimidir. Bu çalışmada hacimsel ısı üretimi tanımlanmamış, termal etki zamana bağlı sıcaklık sınır şartıyla modellenmiştir [1,2].

Konvektif ısı transferi ise;

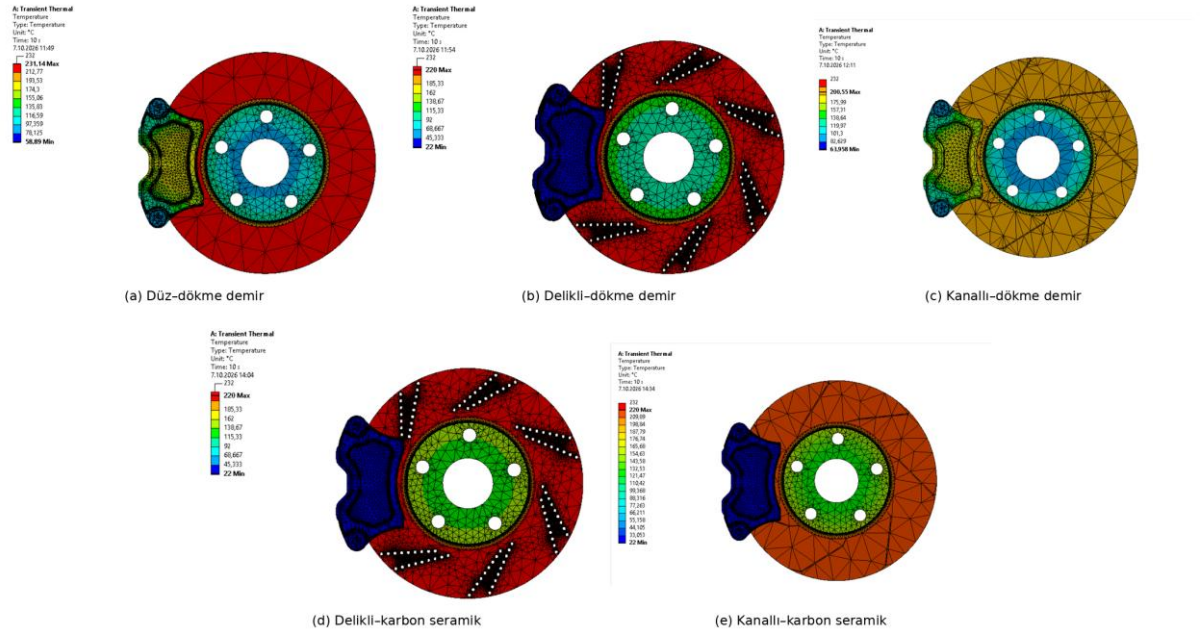
$$q'' = h(T_S - T_\infty) \quad (2)$$

bağıntısıyla ifade edilmiştir. Burada h konveksiyon katsayısı, Ts yüzey sıcaklığı ve T∞ çevre sıcaklığıdır. Analiz sonucunda sıcaklık ve toplam ısı akısı (Total Heat Flux) dağılımları elde edilerek farklı disk geometrileri ve malzemeler karşılaştırılmıştır [2,9].

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Sıcaklık dağılımlarının genel değerlendirilmesi

Beş modele ait sıcaklık konturları Görsel 4'te ortak bir düzen içerisinde sunulmuştur. Görsel 4(a-c) dökme demir için düz, delikli ve kanallı geometrileri; Görsel 4(d-e) ise karbon seramik kullanılan delikli ve kanallı modelleri göstermektedir. Düz diskte sıcaklık alanı daha sürekli bir dağılım gösterirken, delik ve havalandırma kanalları sıcaklık gradyanlarını yerel olarak değiştirmektedir. Bu davranış, geometri değişiminin ısı iletim yollarını ve sıcaklık alanını etkileyebildiğini bildiren önceki sayısal çalışmalarla nitel olarak uyumludur [3,4,8]. Bununla birlikte kontur renkleri, her modelde ölçek sınırları ve maksimum değerler farklı olabildiği için tek başına nicel performans göstergesi olarak kullanılmamıştır. Bu nedenle sıcaklık konturları, Görsel 5'deki eğriler ve Çizelge 5'te verilen sayısal sonuçlarla birlikte değerlendirilmiştir.



Görsel 4. t = 10 s anında fren diski modellerinde elde edilen sıcaklık dağılımları: (a) düz–dökme demir, (b) delikli–dökme demir, (c) kanallı–dökme demir, (d) delikli–karbon seramik ve (e) kanallı–karbon seramik.

Kontur görsellerindeki renk skalaları her modelin kendi minimum ve maksimum sıcaklık aralığına göre oluşturulduğundan, modeller arasındaki nicel karşılaştırmalar renk dağılımı üzerinden değil, maksimum ve ortalama sıcaklık değerleri üzerinden gerçekleştirilmiştir.

3.2. Dökme demir disklerde geometri etkisi

Dökme demir kullanılan üç geometri için sonuçlar Çizelge 5'te birlikte verilmiştir. Maksimum sıcaklık düz diskte 231,14 °C, delikli diskte 220,00 °C ve kanallı diskte 200,55 °C olarak

hesaplanmıştır. Düz disk referans alındığında bu değer delikli geometride yaklaşık %4,82, kanallı geometride ise %13,23 daha düşüktür. Bu eğilim, havalandırma geometrisinin sıcaklık alanını değiştirebildiğini gösteren literatür bulgularıyla nitel olarak uyumludur [3,4]. Ancak t = 10 s ortalama sıcaklıkları aynı sıralamayı izlememiş; düz, delikli ve kanallı disklerde sırasıyla 137,15, 151,44 ve 150,30 °C elde edilmiştir. Dolayısıyla kanallı geometrinin daha düşük maksimum sıcaklık vermesi, tüm disk hacminin daha düşük ortalama sıcaklıkta olduğu anlamına gelmemektedir. Bu ayrım, tanımlı sıcaklık (Dirichlet) sınır şartı kullanılan mevcut modelde özellikle önemlidir; çünkü maksimum sıcaklığın bir bölümü doğrudan uygulanan sınır sıcaklığından etkilenmektedir. Görsel 5'deki zaman geçmişleri de geometrilerin yalnızca son adımda değil, analiz süresince farklı ortalama sıcaklık gelişimleri sergilediğini göstermektedir.

Çizelge 5. Fren diski modellerinin sıcaklık temelli genel performans değerlendirmesi.

Model	Tmax (°C)	Tavg,10s (°C)	Tmax değişimi	Tavg değişimi	Temel yorum
Düz–dökme demir	231,14	137,15	Referans	Referans	En yüksek Tmax; dökme demir modeller içinde en düşük Tavg
Delikli–dökme demir	220,00	151,44	−4,82%*	+10,42%*	Tmax azalırken Tavg artmıştır
Kanallı–dökme demir	200,55	150,30	−13,23%*	+9,59%*	Dökme demirde en düşük Tmax
Delikli–karbon seramik	220,00	152,88	—	+0,95%**	Malzeme değişiminin Tavg üzerindeki etkisi sınırlıdır
Kanallı–karbon seramik	220,00	72,68	—	−51,64%**	Ortalama sıcaklıkta belirgin malzeme etkisi görülmüştür

* İlk üç satırda düz–dökme demir modele göre. ** Aynı geometrinin dökme demir modeline göre.

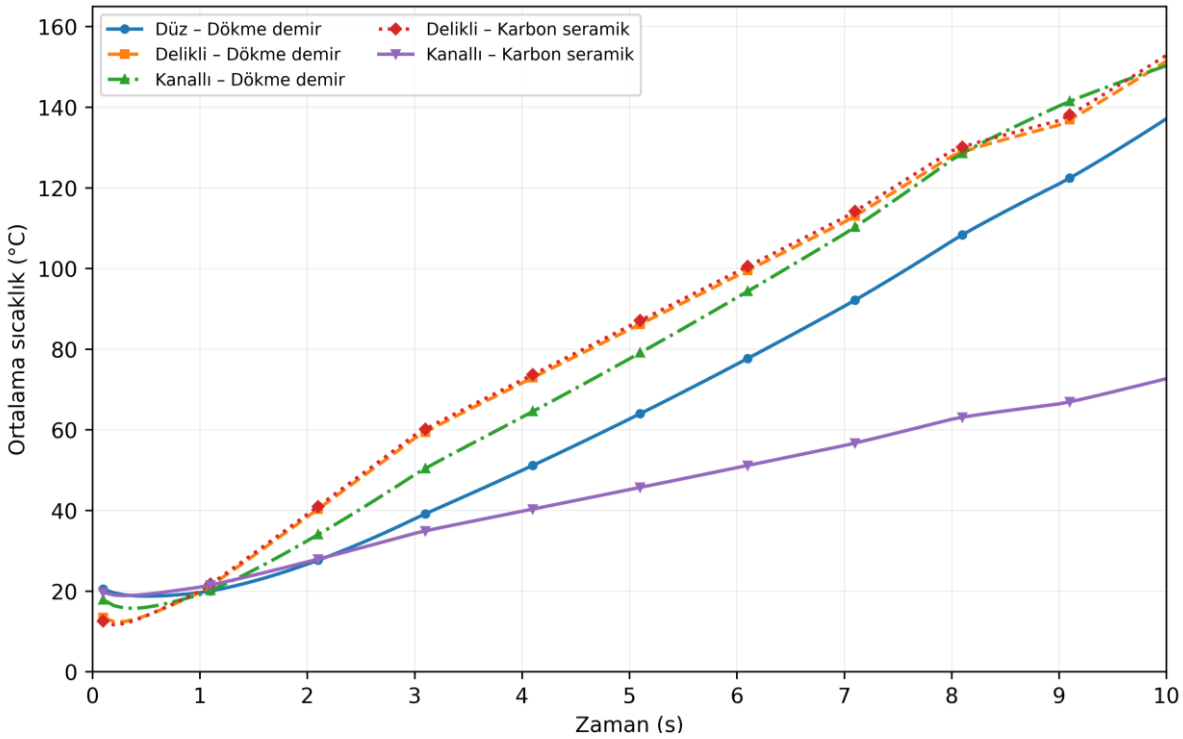
3.3. Delikli geometride malzeme etkisi

Delikli geometride malzeme etkisi Çizelge 5 üzerinden değerlendirildiğinde, dökme demir ve karbon seramik modellerin her ikisinde de maksimum sıcaklığın 220,00 °C olduğu görülmektedir. Bu eşitlik, t = 10 s anında uygulanan 220 °C sıcaklık sınır şartının doğrudan sonucudur ve malzemeler arasında bağımsız bir maksimum sıcaklık üstünlüğü olarak yorumlanmamalıdır. Ortalama sıcaklık dökme demirde 151,44 °C, karbon seramikte 152,88 °C olup fark yaklaşık %0,95'tir. Bu küçük değişim, incelenen sınır şartları altında delikli geometride yalnızca malzeme değiştirmenin ortalama sıcaklık açısından belirgin bir iyileşme sağlamadığını göstermektedir. Sonuç, geometri ve malzemenin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini gösteren önceki parametrik fren diski çalışmalarının yaklaşımıyla uyumludur [7,8].

3.4. Kanallı geometride malzeme etkisi

Kanallı geometride malzeme değişimi daha belirgin bir farklılık oluşturmuştur. Çizelge 5'e göre dökme demir modelde maksimum ve ortalama sıcaklıklar sırasıyla 200,55 °C ve 150,30 °C iken, karbon seramik modelde 220,00 °C ve 72,68 °C elde edilmiştir. Böylece karbon seramik modelin t = 10 s ortalama sıcaklığı dökme demire göre yaklaşık %51,64 daha düşük gerçekleşmiştir. Görsel 5'deki zaman eğrileri, bu farkın yalnızca son zaman adımındaki tekil bir

değerden kaynaklanmadığını; iki malzemenin analiz süresince farklı ortalama sıcaklık gelişimleri sergilediğini göstermektedir. Buna karşılık karbon seramik modeldeki 220 °C maksimum değer, uygulanan son sınır sıcaklığıyla çakışmaktadır. Bu nedenle mevcut model açısından elde edilen bulgu maksimum sıcaklıktan çok ortalama sıcaklık gelişimindeki ayrışmadır. Bununla birlikte bu sonuç, kullanılan sabit termofiziksel özellikler ve tanımlanan sınır şartları için geçerlidir; gerçek frenleme koşullarında mutlak bir malzeme üstünlüğü olarak genellenmemelidir.

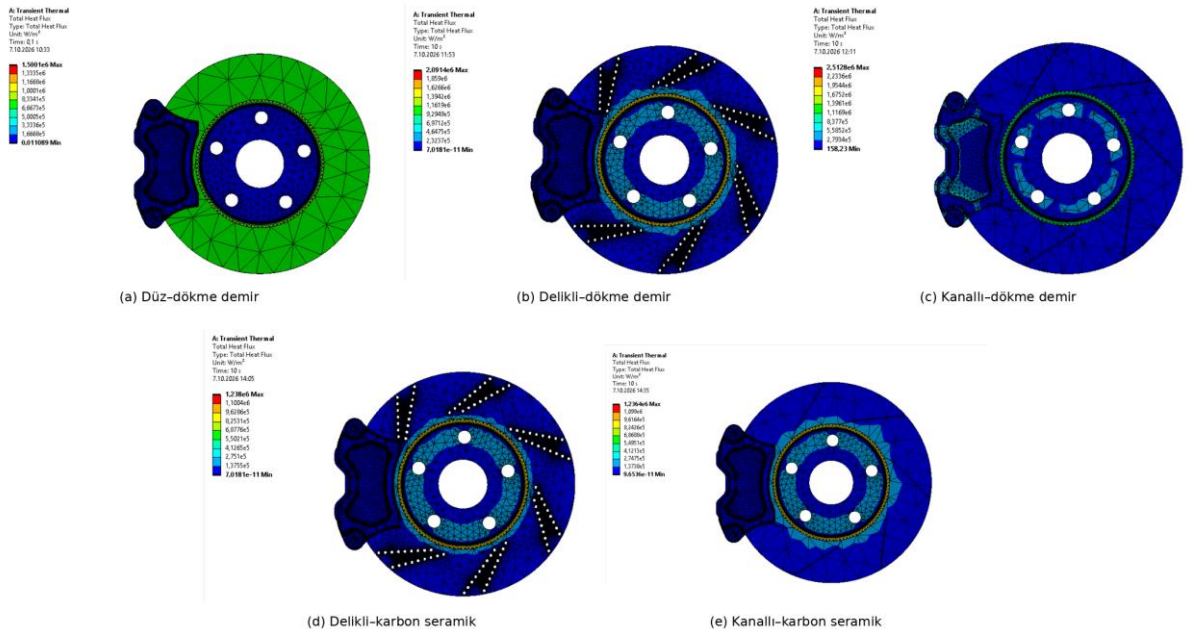


Görsel 5. Beş fren diski modeli için ortalama sıcaklığın zamana bağlı değişimi (0,1–10 s).

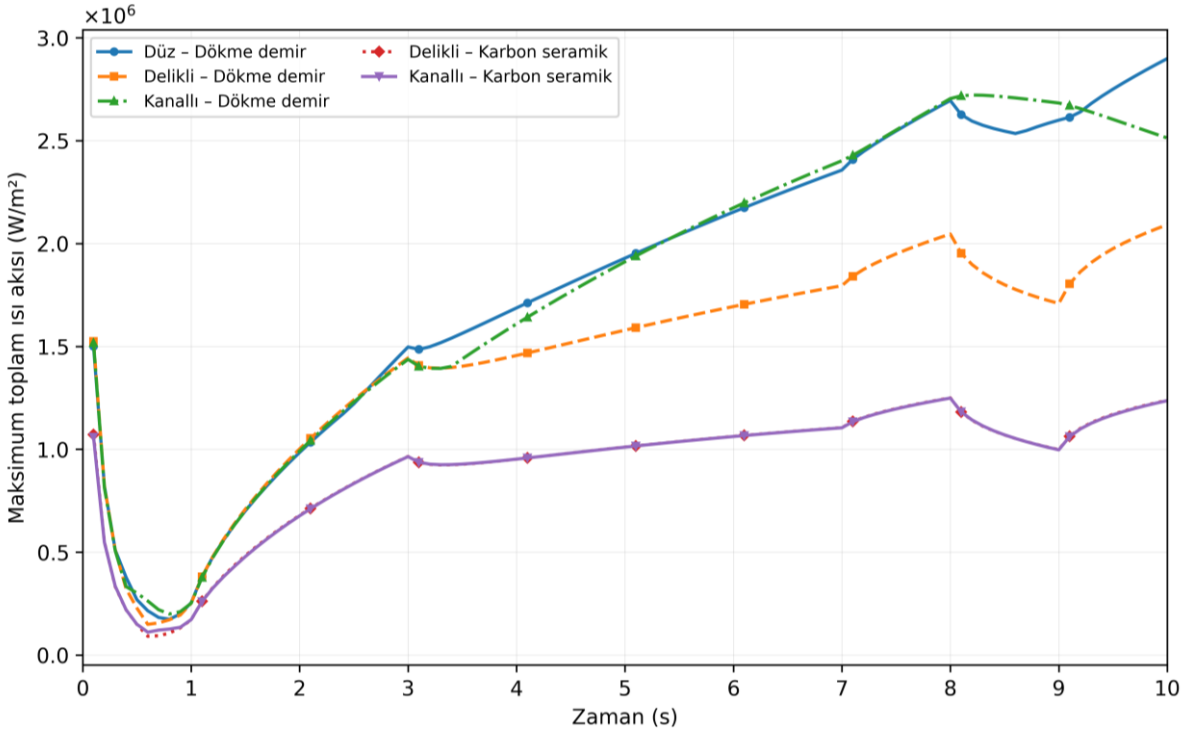
Görsel 5'te verilen ortalama sıcaklık-zaman eğrileri, modeller arasındaki farklılığın yalnızca analiz sonundaki sıcaklık değerleriyle sınırlı olmadığını, geçici rejim boyunca geliştiğini göstermektedir. Düz, delikli ve kanallı dökme demir modellerinde ortalama sıcaklık zamanla artmış ve t = 10 s sonunda sırasıyla 137,15 °C, 151,44 °C ve 150,30 °C değerlerine ulaşmıştır. Delikli geometride karbon seramik ve dökme demir modellerinin sıcaklık eğrilerinin birbirine oldukça yakın seyretmesi, bu geometride malzeme değişiminin ortalama sıcaklık cevabı üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Nitekim t = 10 s sonunda iki model arasındaki fark yaklaşık %0,95'tir. Buna karşılık kanallı karbon seramik modelin sıcaklık eğrisi zaman ilerledikçe diğer modellerden belirgin biçimde ayrılmış ve t = 10 s sonunda 72,68 °C değerinde kalmıştır. Bu değer aynı geometrinin dökme demir modelinden %51,64 daha düşüktür. Böylece zaman geçmişi sonuçları, malzeme değişiminin etkisinin incelenen delikli ve kanallı geometrilerde aynı olmadığını ve termal davranışın yalnızca analiz sonundaki maksimum sıcaklık değeri üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

3.5. Toplam ısı akısı dağılımlarının değerlendirilmesi

Toplam ısı akısı (Total Heat Flux) konturları Görsel 6'da, maksimum toplam ısı akısının 0,1–10 s arasındaki değişimi ise Görsel 7'de verilmiştir. Konturlar, ısı transferinin delik, kanal ve geometrik geçişler çevresinde yerel olarak yoğunlaştığını göstermektedir. Bununla birlikte her modelin kontur skalası kendi minimum ve maksimum değerlerine göre oluşturulduğundan, renk dağılımları modeller arasında doğrudan nicel üstünlük göstergesi olarak kullanılmamıştır.



Görsel 6. Farklı fren diski geometrileri ve malzemeleri için toplam ısı akısı dağılımları: (a) düz–dökme demir, (b) delikli–dökme demir, (c) kanallı–dökme demir, (d) delikli–karbon seramik ve (e) kanallı–karbon seramik.



Görsel 7. Beş fren diski modeli için maks. toplam ısı akısının zamana bağlı değişimi (0,1–10 s).

Maksimum toplam ısı akısının zamana bağlı değişimi incelendiğinde, tüm modellerde analiz başlangıcında yüksek olan değerlerin ilk zaman adımlarında hızlı biçimde azaldığı, daha sonra ise uygulanan zamana bağlı sıcaklık sınır şartıyla birlikte yeniden arttığı görülmektedir. t = 10 s sonunda maksimum toplam ısı akısı düz–dökme demir, delikli–dökme demir ve kanallı–dökme demir modellerinde sırasıyla 2,8989×10⁶, 2,0914×10⁶ ve 2,5128×10⁶ W/(m²) olarak elde edilmiştir. Aynı anda delikli–karbon seramik ve kanallı–karbon seramik modellerinde değerler sırasıyla 1,2380×10⁶ ve 1,2364×10⁶ W/(m²)'dir. Bununla birlikte maksimum toplam ısı akısı

yerel bir büyüklük olduğundan ve geometrik süreksizliklerden etkilenebildiğinden, daha yüksek bir maksimum değer doğrudan daha iyi soğutma performansı olarak yorumlanmamıştır. Bu sonuçlar sıcaklık dağılımları ve ortalama sıcaklık-zaman eğrileriyle birlikte değerlendirilmiştir.

3.6. Geometri-malzemeye bağlı ortak değerlendirme

Sayısal güvenilirlik açısından, mesh convergence çalışmasında mevcut ve ince ağ seviyeleri arasındaki ortalama sıcaklık değişiminin %1,33 düzeyinde kalması, seçilen çıktı değişkeninin ağ yoğunluğuna karşı sınırlı duyarlılık gösterdiğini desteklemektedir. Çizelge 5 ise maksimum ve ortalama sıcaklık ölçütlerinin aynı performans sıralamasını oluşturmadığını daha açık biçimde ortaya koymaktadır. Dökme demir modellerde delikli ve kanallı geometriler düz diske göre maksimum sıcaklığı sırasıyla %4,82 ve %13,23 azaltırken, t = 10 s ortalama sıcaklığı sırasıyla %10,42 ve %9,59 artırmıştır. Dolayısıyla maksimum sıcaklıktaki azalma, disk hacminin genel olarak daha düşük ortalama sıcaklıkta olduğu anlamına gelmemektedir. Malzeme etkisinin de geometriye bağlı olduğu görülmektedir: karbon seramik kullanımı delikli geometride ortalama sıcaklığı yalnızca %0,95 değiştirirken, kanallı geometride %51,64 daha düşük ortalama sıcaklık vermiştir. Bu karşıt davranış, incelenen ortak sınır şartları altında termal cevabın yalnızca geometri veya yalnızca malzeme üzerinden açıklanamayacağını; geometri–malzeme etkileşiminin maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, geçici sıcaklık gelişimi ve toplam ısı akısı birlikte ele alınarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçlar; daha düşük maksimum sıcaklığın tek başına daha iyi genel termal davranış anlamına gelmediği ve malzeme seçiminin etkisinin disk geometrisine bağlı olarak önemli ölçüde değişebildiğini göstermektedir.

Mevcut bulgular literatürle birlikte değerlendirildiğinde, fren diski termal cevabının geometri, malzeme ve yükleme tanımına güçlü biçimde bağlı olduğu görülmektedir. Duzgun [3], sürekli frenleme koşullarında üç farklı havalandırmalı disk tasarımını katı diskle karşılaştırmış ve havalandırma uygulamalarının ısı üretimini katı diske göre en fazla %24 azaltabildiğini; deneysel çalışma ile sonlu eleman sıcaklık sonuçları arasındaki farkın ise %1,13–10,87 aralığında kaldığını bildirmiştir. Bu sonuç, mevcut çalışmada kanallı dökme demir model için elde edilen %13,23'lük maksimum sıcaklık azalmasının yönüyle uyumludur; ancak incelenen çıktı değişkenleri ve yükleme koşulları farklı olduğundan oranların doğrudan eşdeğer kabul edilmesi uygun değildir. Tauviqirrahman ve ark. [8], havalandırma deliği açısı ve malzeme değişiminin termal davranışı birlikte etkilediğini, incelenen modellerinde en düşük maksimum sıcaklığın gri dökme demirde ve 0° delik açısı geometrisinde elde edildiğini rapor etmiştir. Mevcut çalışmada ise karbon seramiğin etkisinin delikli ve kanallı geometrilerde aynı olmaması, malzeme etkisinin geometri ve sınır şartlarından bağımsız yorumlanamayacağını desteklemektedir. Topouris ve ark. [11] durağan disklerde konvektif ısı transfer katsayılarının yaklaşık 3–5 W/(m².K) gibi düşük değerlerde olduğunu ve radyal kanatlı disk ile katı disk arasında konvektif ısı yayılımı bakımından belirgin tasarım farkları bulunduğunu göstermiştir. Bu nedenle mevcut çalışmada tüm modellere aynı h değerinin uygulanması gerçek geometriler arasındaki konveksiyon farklarını temsil etmek için değil, geometri ve malzeme etkilerini ortak bir termal sınır şartı altında karşılaştırmak için tercih edilmiştir. Son olarak Agrawal ve ark. [10], sayısal ve deneysel sonuçlar arasında yaklaşık ±%5 uyum bildirmiş ve sayısal doğruluğun mesh yoğunluğu, zaman adımı ve malzeme özelliklerinden önemli ölçüde etkilendiğini vurgulamıştır. Bu bulgu, mevcut çalışmada ağ yakınsama analizinin gerekliliğini desteklemekte; buna karşılık deneysel doğrulamanın bulunmaması çalışmanın temel sınırlılıklarından biri olmaya devam etmektedir.

Bu bulguların kapsamı kullanılan model varsayımlarıyla sınırlıdır. Frenleme kaynaklı ısı üretimi sürtünmeye bağlı yüzey ısı akısı olarak tanımlanmamış; termal yük zamana bağlı

prescribed temperature sınır şartıyla temsil edilmiştir. Disk dönüşünün oluşturduğu akış alanı, sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri, radyasyon, tekrarlı frenleme çevrimleri, termal gerilmeler ve deneysel sıcaklık doğrulaması mevcut modele dahil edilmemiştir. Bu nedenle sonuçlar gerçek bir frenleme olayının mutlak sıcaklık tahmini olarak değil, ortak sınır şartları altında beş konfigürasyonun karşılaştırmalı termal cevabı olarak değerlendirilmelidir. Gelecek çalışmalarda sürtünmeye bağlı ısı üretiminin tanımlanması, dönmeye bağlı konveksiyonun CFD ile belirlenmesi, termal-yapısal eşlenik analiz ve termokupl/termal kamera ölçümleriyle doğrulama yapılması modelin fiziksel temsil gücünü artıracaktır [5,6,9,10].

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada düz, delikli ve kanallı fren diski geometrileri ile dökme demir ve karbon seramik malzemelerin geçici rejim ısıl davranışları aynı analiz süresi, sıcaklık programı ve konveksiyon sınır şartı altında karşılaştırılmıştır. Mesh convergence çalışmasında mevcut-ince ağ arasındaki ortalama sıcaklık değişiminin %1,33 düzeyinde kalması, kullanılan ağın karşılaştırmalı değerlendirme için yeterli yakınsama eğilimi gösterdiğini desteklemiştir.

Dökme demir disklerde maksimum sıcaklık düz, delikli ve kanallı geometriler için sırasıyla 231,14, 220,00 ve 200,55 °C'dir. Kanallı geometri düz diske göre maksimum sıcaklıkta yaklaşık %13,23 daha düşük değer vermiştir. Buna karşın t = 10 s ortalama sıcaklıkları 137,15, 151,44 ve 150,30 °C olarak elde edilmiş ve maksimum sıcaklık ile ortalama sıcaklığın aynı geometri sıralamasını üretmediği görülmüştür.

Malzeme etkisi geometriye bağlı olarak değişmiştir. Delikli geometride karbon seramik kullanımı ortalama sıcaklığı 151,44 °C'den 152,88 °C'ye taşımış ve belirgin bir iyileşme oluşturmamıştır. Kanallı geometride ise karbon seramik modelin ortalama sıcaklığı 150,30 °C'den 72,68 °C'ye düşmüş; yaklaşık %51,64 daha düşük değer elde edilmiştir. Bununla birlikte 220 °C'lik maksimum değerlerin prescribed temperature sınır şartıyla doğrudan ilişkili olması nedeniyle maksimum sıcaklık tek başına malzeme performansı göstergesi olarak değerlendirilmemiştir.

Sonuç olarak, incelenen sayısal koşullarda fren diski termal cevabının maksimum sıcaklıkla tek başına karakterize edilemeyeceği gösterilmiştir. Dökme demir modellerde geometri değişimi maksimum sıcaklığı azaltırken ortalama sıcaklığın aynı yönde değişmemesi ve karbon seramiğin delikli ile kanallı geometrilerde farklı etkiler oluşturması, geometri–malzeme etkileşimini çalışmanın temel bulgusu haline getirmektedir. Bu nedenle fren diski değerlendirmelerinde maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, geçici sıcaklık gelişimi ve toplam ısı akısı birlikte ele alınmalıdır. Mevcut çalışma kontrollü karşılaştırmalı bir sonlu eleman modeli niteliğindedir; sürtünmeye bağlı ısı akısı, dönmeye bağlı konveksiyon/CFD, sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri ve deneysel doğrulamanın eklenmesi sonuçların gerçek frenleme koşullarına genellenebilirliğini güçlendirecektir.

KAYNAKÇA

1. Belhocine, A., Bouchetara, M., Thermal Analysis of a Solid Brake Disc, Applied Thermal Engineering, 32, 59–67, 2012.

2. Adamowicz, A., Grzes, P., Analysis of Disc Brake Temperature Distribution During Single Braking Under Non-Axisymmetric Load, Applied Thermal Engineering, 31, 6–7, 1003–1012, 2011.

3. Duzgun, M., Investigation of Thermo-Structural Behaviors of Different Ventilation Applications on Brake Discs, Journal of Mechanical Science and Technology, 26, 1, 235–240, 2012.

4. Belhocine, A., Bouchetara, M., Thermal Behavior of Full and Ventilated Disc Brakes of Vehicles, Journal of Mechanical Science and Technology, 26, 3643–3652, 2012.

5. Yevtushenko, A. A., Grzes, P., Mutual Influence of the Sliding Velocity and Temperature in Frictional Heating of the Thermally Nonlinear Disc Brake, International Journal of Thermal Sciences, 102, 254–262, 2016.

6. Grzes, P., Maximum Temperature of the Disc During Repeated Braking Applications, Advances in Mechanical Engineering, 11, 3, 2019.

7. Belhocine, A., Abdullah, O. I., A Thermomechanical Model for the Analysis of Disc Brake Using the Finite Element Method in Frictional Contact, Journal of Thermal Stresses, 43, 3, 305–320, 2020.

8. Tauviqirrahman, M., Muchammad, M., Setiazi, T., Setiyana, B., Jamari, J., Analysis of the Effect of Ventilation Hole Angle and Material Variation on Thermal Behavior for Car Disc Brakes Using the Finite Element Method, Results in Engineering, 17, 100844, 2023.

9. Grzes, P., Kuciej, M., Kukulski, J., FE-Modeling of Temperature Evolutions of the Brake Disc Measured Using Thermocouples, Measurement, 258, 119438, 2025.

10. Agrawal, V. K., Panwar, V. S., Patil, L. N., Transient Thermal Behaviour in Brake Linings and Rotors: A Mathematical and Experimental Study, Cogent Engineering, 13, 1, 2664904, 2026.

11. Topouris, S., Stamenković, D., Olphe-Galliard, M., Popović, V., Tirovic, M., Heat Dissipation from Stationary Passenger Car Brake Discs, Strojniški Vestnik – Journal of Mechanical Engineering, 66, 1, 15–28, 2020.

DÜŞÜK REYNOLDS SAYILARINDA SEÇİLİ İHA KANAT PROFİLLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI CFD SAYISAL ANALİZİ

Duygu YERLİ

Erciyes Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi. Mekatronik Mühendisliği Bölümü (Lisans Öğrencisi)

duyguyerli75@gmail.com - 0009-0007-8797-4084

Dr. Öğr. Üyesi Memduh SUVEREN

Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü

msuveren@erciyes.edu.tr - 0000-0003-4545-5378

ÖZET

Bu çalışmada, düşük Reynolds sayılarında çalışan küçük insansız hava araçları (İHA) için kullanılabilecek beş farklı kanat profilinin aerodinamik performansı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda NACA 0012, NACA 2412, NACA 4412, S1223 ve SD7037 profilleri ele alınmış; analizler Reynolds sayısının 100.000, 200.000 ve 300.000 olduğu koşullarda ve −2° ile 14° arasındaki farklı hücum açıları için gerçekleştirilmiştir. İki boyutlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) analizleri ANSYS Fluent ortamında SST k–ω türbülans modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada elde edilen kaldırma katsayısı (CL), sürükleme katsayısı (CD) ve kaldırma/sürükleme oranı (CL/CD) değerleri karşılaştırılarak Reynolds sayısı ve profil geometrisinin aerodinamik performans üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, profil geometrisinin ve özellikle kamburluğun kaldırma performansı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. İncelenen koşullar içerisinde en yüksek kaldırma katsayısı S1223 profilinde elde edilmiş ve Re=200.000 için 1,649 değerine ulaşmıştır. Buna karşılık, kaldırma ve sürükleme arasındaki dengeyi ifade eden (CL/CD) oranında en yüksek değer SD7037 profilinde 47,25 olarak elde edilmiştir. Basınç ve hız dağılımlarından elde edilen akış alanları da profiller arasındaki aerodinamik performans farklılıklarını desteklemiştir.

Elde edilen bulgular, düşük Reynolds sayılarında kanat profili seçiminin yalnızca yüksek kaldırma üretme kapasitesine göre değil, aynı zamanda sürükleme ve aerodinamik verimlilik dikkate alınarak yapılması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Kanat Profili, Düşük Reynolds Sayısı, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği, ANSYS Fluent, Kaldırma Katsayısı, Aerodinamik Verimlilik.

COMPARATIVE CFD ANALYSIS OF SELECTED UAV AIRFOIL PROFILES AT LOW REYNOLDS NUMBERS

ABSTRACT

In this study, the aerodynamic performance of five different airfoil profiles suitable for small unmanned aerial vehicles (UAVs) operating at low Reynolds numbers was examined in a comparative analysis. In this context, the NACA 0012, NACA 2412, NACA 4412, S1223, and SD7037 profiles were examined; analyses were performed under conditions where the Reynolds number was 100,000, 200,000, and 300,000, and for different angles of attack ranging from −2° to 14°. Two-dimensional Computational Fluid Dynamics (CFD) analyses were performed in the ANSYS Fluent environment using the SST k–ω turbulence model.

The effects of the Reynolds number and profile geometry on aerodynamic performance were evaluated by comparing the lift coefficient (CL), drag coefficient (CD), and lift-to-drag ratio (CL/CD) values obtained in the study. The results showed that the profile geometry, and particularly the camber, has a significant effect on lift performance. Among the conditions examined, the highest lift coefficient was obtained with the S1223 profile, reaching a value of 1.649 at Re = 200,000. In contrast, the highest value for the lift-to-drag ratio (CL/CD), which represents the balance between lift and drag, was obtained with the SD7037 profile at 47.25. The flow fields obtained from the pressure and velocity distributions also supported the differences in aerodynamic performance between the profiles.

The findings indicate that at low Reynolds numbers, the selection of a wing profile should be based not only on its capacity to generate high lift but also on drag and aerodynamic efficiency.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Airfoil, Low Reynolds Number, Computational Fluid Dynamics, ANSYS Fluent, Lift Coefficient, Aerodynamic Efficiency.

i. SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Sembol	Açıklama
α	Hücum Açısı (Derece)
ρ	Akışkan Yoğunluğu
u	X Yönündeki Zaman Ortalamalı Hız Bileşeni
ν	Y Yönündeki Zaman Ortalamalı Hız Bileşeni
p	Statik Basınç
μ	Dinamik Viskozite
τ_{ij}	Türbülans Etkilerini Temsil Eden Reynolds Gerilmeleri
C_L	Kaldırma Katsayısı
C_D	Sürükleme Katsayısı
V	Serbest Akış Hızı
c	Kanat Veter Uzunluğu

Kısaltma	Açıklama
NACA	Ulusal Havacılık Danışma Komitesi (National Advisory Committee for Aeronautics)

CFD Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics)

AoA Hücum Açısı (Angle of Attack)

Re Reynolds Sayısı

LSB Laminer Ayrılma Kabarcığı

SST Shear Stress Transport

1. GİRİŞ

Havacılık endüstrisinde, otonom lojistik sistemlerinde ve modern İnsansız Hava Aracı (İHA) tasarımlarında uçuş menzilini artırmak, taşıma kapasitesini maksimize etmek ve enerji tüketimini minimize etmek aerodinamik verimliliğin en temel hedeflerinden biridir [1]. Bir hava aracının aerodinamik performansı; büyük ölçüde kanat profilinin (airfoil) görev tanımına uygun seçilmesine, viskoz sınır tabaka davranışlarına ve oluşan basınç ve sürtünme sürüklemesine bağlıdır [1, 2]. Bu bağlamda, farklı operasyonel gereksinimlere cevap verebilen, kaldırma katsayısı (C_L) yüksek ve sürükleme katsayısı (C_D) düşük kanat profillerinin detaylı analizi mühendislik çalışmalarının merkezinde yer almaktadır [2, 3]. Kanat profilleri etrafındaki viskoz ve ayrılmalı akış yapısının ayrıntılı olarak incelenmesi amacıyla Sayısal Akışkanlar Dinamiği (CFD) ve Sonlu Hacimler Yöntemi (FVM) günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır [7].

Düşük Reynolds sayılı rejimlerde ($Re < 500 \times 10^3$) çalışan mikro hava araçları (MAV) ve süzülen İHA'larda, viskoz etkilerin görece önem kazanması nedeniyle sınır tabaka olayları oldukça karmaşık bir hal almaktadır [3]. Bu rejimde akış, kanat üst yüzeyinde laminar ayrılma kabarcıkları (Laminar Separation Bubble - LSB), erken akış ayrılması (separation) ve stol (stall) gibi olumsuzluklara maruz kalarak aerodinamik performansı ciddi şekilde düşürebilmektedir [3, 9]. Aerodinamik literatüründe bu düşük Reynolds sayılı akış olaylarını çözümleyebilmek adına farklı geometrik özelliklere sahip profiller üzerinde yoğun çalışmalar yürütülmüştür. Simetrik yapısıyla temel referans kabul edilen NACA 0012 profili, düşük Reynolds sayılarındaki kararsız akış özellikleri ve yunuslama (pitching) hareketleri yönüyle Kurtuluş [10] tarafından incelenmiş ve simetrik kesitlerin hücum açısına bağlı tepkileri ortaya konmuştur. Kararlı asimetrik yapılarıyla genel havacılıkta ve İHA'larda sıkça kullanılan NACA 2412 ve NACA 4412 serilerinin düşük Reynolds sayılarındaki performansları ve sınır tabaka geçiş modelleri Genç vd. [9] tarafından ele alınırken, bu analizlerde kullanılan k- ω SST gibi türbülans modellerinin teorik altyapısı Menter [5,11] ve Langtry & Menter [8] tarafından literatüre kazandırılmıştır.

Diğer taraftan, özellikle düşük hızlarda yüksek taşıma kapasitesi (High-Lift) sunan özel tasarımlı profiller literatürde ayrı bir inceleme alanı oluşturmuştur. Düşük Reynolds sayıları için geliştirilen geniş kapsamlı veritabanı çalışmalarında S1223 ve SD7037 profillerinin aerodinamik karakteristikleri Selig vd. [4] ile Selig ve Guglielmo [6] tarafından deneysel olarak belgelenmiştir. Yüksek kamber ve içbükey (concave) alt yüzey geometrisine sahip S1223 profilinin yüksek kaldırma üretimine karşın, yüksek açılarda oluşan geniş iz (wake) bölgesinin sürüklemeyi artırdığı görülmektedir. Buna karşın, optimum kamber dağılımına sahip SD7037 profilinin ise kaldırma/sürükleme oranını (C_L/C_D) yüksek tutarak akış ayrılmasına karşı daha dirençli bir yapı sergilediği Selig ve çalışma arkadaşları [4, 6] tarafından tespit edilmiştir

Literatürde düşük Reynolds sayılarında farklı kanat profillerinin aerodinamik performansları ayrı ayrı veya kısıtlı parametreler altında incelenmiş olmakla birlikte; simetrik (NACA 0012), orta kamberli (NACA 2412, NACA 4412), yüksek kamberli (S1223) ve yüksek verimlilik odaklı (SD7037) beş farklı profilin birlikte değerlendirildiği geniş kapsamlı karşılaştırmalı

çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı; farklı geometrik karakteristiklere sahip bu beş kanat profilinin aerodinamik performanslarını, aynı CFD ağı (mesh) yaklaşımı, aynı sınır şartları ve türbülans modeli altında sistematik olarak karşılaştırmaktır. Bu kapsamda profiller; Re = 100 × 10^3, 200 × 10^3 ve 300 × 10^3 Reynolds sayılarında ve -2° ile +14° hücum açısı aralığında (2° adımlarla) incelenmiştir. Çalışma mevcut haliyle 135 farklı CFD koşulunun detaylı karşılaştırmasını içermektedir.

Çalışmanın takip eden bölümlerinde öncelikle **Materyal ve Yöntem** başlığı altında incelenen kanat profili geometrileri, akış alanı boyutları, uygulanan sınır şartları, sayısal ağ (mesh) yapısı ve mesh bağımsızlığı doğrulama süreçleri detaylandırılmıştır. **Bulgular ve Tartışma** bölümünde, 135 farklı CFD koşulundan elde edilen kaldırma (C_L), sürükleme (C_D) ve aerodinamik verim (C_L/C_D) katsayıları ile yüzey basınç ve hız konturları sunulmuştur.**Genel Değerlendirme ve Sonuçlar** bölümünde ise elde edilen bulgular literatürdeki teorik ve deneysel veriler ışığında değerlendirilerek profillerin kullanım alanlarına dair mühendislik çıkarımlarında bulunulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada; havacılık uygulamalarında, otonom sistemlerde ve İHA tasarımlarında farklı görev gereksinimlerine yanıt veren beş kanat profilinin (NACA 0012, NACA 2412, NACA 4412, S1223 ve SD7037) iki boyutlu aerodinamik performansları parametrik olarak incelenmiştir. Sayısal analizler, ANSYS Fluent yazılımı kullanılarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yöntemiyle ve yüksek çözünürlüklü bir mesh (ağ) yapısı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sayısal simülasyon süreçlerinde uygulanan parametreler, sınır şartları ve çalışmaya ilişkin teknik detaylar aşağıda açıklanmıştır.

Akış bölgesinin boyutları profil etrafındaki akış yapısının dış sınırlardan olumsuz etkilenmesini engellemek üzere C-tipi (C-grid) akış alanı oluşturulmuştur. Akış alanının giriş (inlet) sınırı kanat profili hücum kenarından 10c , çıkış (outlet) sınırı firar kenarından 13c ve üst/alt sınırlar ise 10c uzaklıkta konumlandırılmıştır.

Profil kord uzunluğu aerodinamik katsayı (C_L, C_D) ve Reynolds sayısı hesaplamalarında referans alanı ve uzunluğu standartlaştırarak hesaplama karmaşıklığını önlemek ve elde edilen kuvvet verilerini doğrudan boyutsuz formata dönüştürebilmek amacıyla tüm profillerin kord uzunluğu c = 1m olarak seçilmiştir.

Hava sıcaklığı ve basıncı simülasyonlar 15°C (288.15 K) standart hava sıcaklığı ve 101.325Pa (1 atm) atmosferik basınç altında, sıkıştırılamaz hava ortamında gerçekleştirilmiştir. Akışkan özkütlesi ρ = 1.225kg/m^3,dinamik vizkozitesi ise μ = 1.7894 × 10^{-5}kg / (m.s) alınmıştır.

Serbest Akış Hızları (V):

$$V = \frac{\mathrm{Re}.\mu}{\rho.c} \qquad (1)$$

formülü üzerinden türetilerek tanımlanan serbest akış hızları;

Re = 100.000 için V = 1.4607 m/s,

Re = 200.000 için V = 2.9215 m/s,

Re = 300.000 için V = 4.3822 m/s olarak belirlenmiştir.

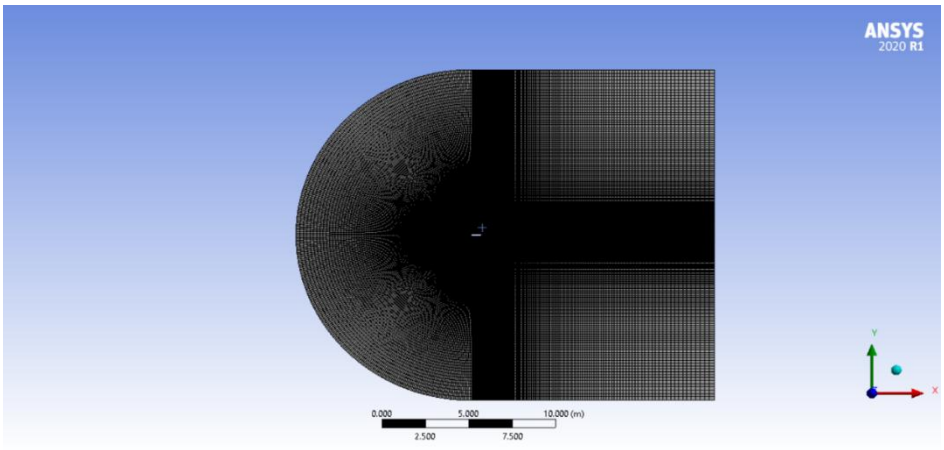
Sayısal analizlerde uygulanan sınır şartları kapsamında; dış C-yayı ile üst ve alt dış sınırlar hız girişi (Velocity Inlet) olarak tanımlanırken, akış alanının sağ dikey sınırı 0 Pa Gauge basınca sahip basınç çıkışı (Pressure Outlet) olarak ayarlanmıştır. İncelenen tüm kanat profili geometrileri (profil duvarları) kaymasız duvar (No-Slip Wall) olarak kabul edilmiş ve yüzeydeki akışkan bağıl hızı sıfırlanmıştır. Ayrıca analizlerde serbest akış koşullarını tanımlamak amacıyla türbülans belirleme yöntemi olarak 'Intensity and Viscosity Ratio' kullanılmış olup; bu doğrultuda Türbülans Yoğunluğu (Turbulence Intensity) %1 ve Türbülans Viskozite Oranı (Turbulent Viscosity Ratio) 10 olarak uygulanmıştır.

Sayısal ağ mimarisi kapsamında akış alanı 6 ayrı yüzeye bölünerek Mapped Mesh yöntemiyle tamamen dörtgen (quadrilaterals) yapılandırılmış (structured) elemanlardan oluşturulmuştur. Ağ elemanlarının dağılımı belirlenirken; dış ortam ve giriş kenarlarında 150, iç düşey hatta ise 300 bölüntü tanımlanmış ve profil yüzeyine dik uzanan kenarlarda Bias Factor = 20.0 kullanılarak ağ yapısı duvara doğru kademeli olarak sıkılaştırılmıştır. Profil yüzeyindeki sınır tabaka akışını yüksek doğrulukla çözmek amacıyla yüzey ağ katmanları (Inflation Layer) kullanılmış olup, profil etrafında duvar yakınlaşması Bias derecelendirmesi ve geçiş katmanları ile desteklenmiştir. Simülasyonların ağ çözünürlüğünden bağımsızlaştığını kanıtlamak amacıyla dört farklı ağ sıkılık seviyesinde (Coarse, Medium, Fine ve Very Fine) mesh bağımsızlığı testleri gerçekleştirilmiş ve yapılan tüm CFD analizlerinde Fine Mesh (150-300 ayarı) yapısı seçilmiştir.

Çizelge 1: Mesh Bağımsızlığı Testi Sonuçları (NACA 0012)

Mesh Seviyesi	Ağ Ayar Aralığı	CL	CD	CD Değişimi (%)
Coarse (Kaba)	75 - 150	0.35	0.025	-
Medium (Orta)	110 - 220	0.35	0.023	%8.0
Fine (Sıkı - Seçilen)	150 - 300	0.35	0.022	%4.3
Very Fine (Çok Sıkı)	200 - 400	0.35	0.022	%0.0

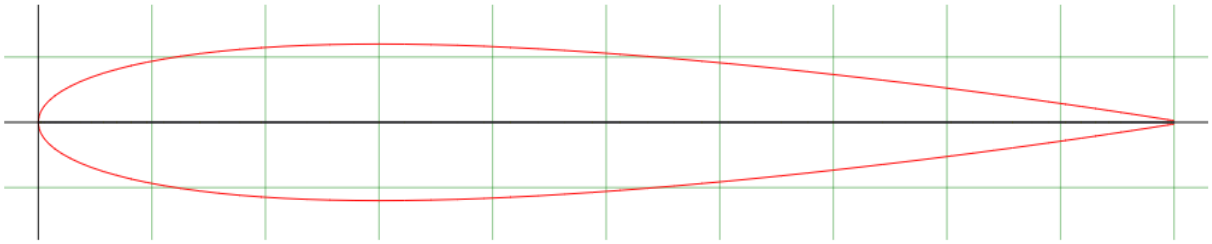
Sayısal analizlerde, basınç ve hız denklemlerinin eşzamanlı çözülerek kararlı yakınsama sağladığı Coupled algoritması tercih edilmiştir. Spatial Discretization (Uzamsal Ayrıklaştırma) şemaları kapsamında sayısal yayılmayı önlemek amacıyla; Basınç (Pressure) için Second Order, Momentum için Second Order Upwind, Türbülanslı Kinetik Enerji (k) ve Spesifik Dağılım Oranı (ω) için ise First Order Upwind şemaları uygulanmıştır. Çözümün hızlı ve doğru yakınsaması adına giriş sınır şartı değerlerini referans alan Hybrid Initialization yöntemi kullanılmıştır. Analizlerin tamamlanması için yakınsama kriteri olarak; süreklilik ve momentum artıklarının (residuals) 10^{-5} seviyesine gerilemesi ve hesaplanan C_L, C_D aerodinamik katsayılarının sabitlenmesi temel alınmıştır. Ayrıca analizlerin doğruluğunu artırmak amacıyla C tipi akış hacmi (Görsel 1) tercih edilmiştir.



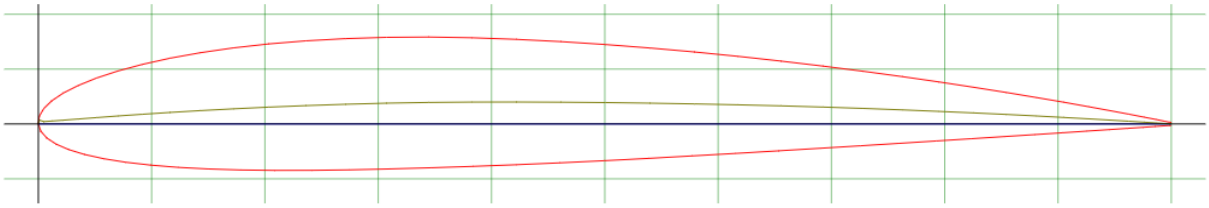
Görsel 1. C Tipi Akış Hacmi.

2.1 İki Boyutlu Kanat Profilleri

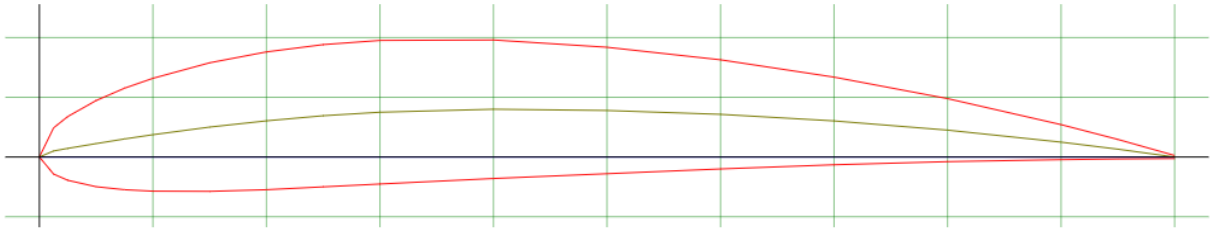
Çalışmada kullanılan 5 farklı kanat profili Görsel 2-6 olarak aşağıda sunulmaktadır [12].



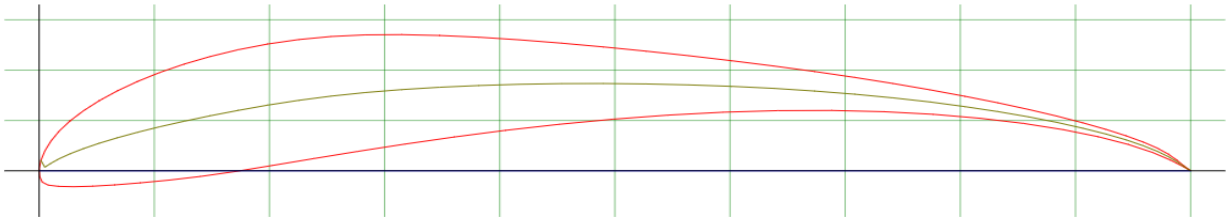
Görsel 2. NACA 0012



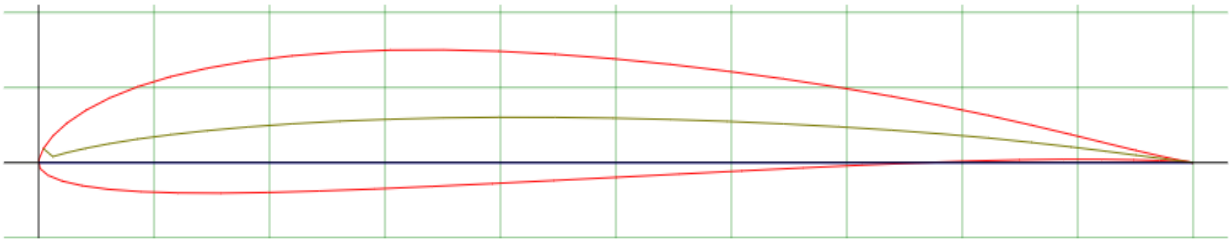
Görsel 3. NACA 2412



Görsel 4. NACA 4412



Görsel 5. S1223



Görsel 6. SD7037

Fluent çözücüsü tarafından kanat yüzeyindeki basınç ve kayma gerilmelerinin entegrasyonu yoluyla hesaplanan toplam kaldırma kuvveti (L) ve sürükleme kuvveti (D), aşağıdaki denklemler vasıtasıyla boyutsuz katsayılara dönüştürülür:

$$C_L = L / (½ \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S) \quad (2)$$

$$C_D = D / (½ \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S) \quad (3)$$

Burada S kanat veter (chord) uzunluğunu (çalışmada 1 m alınmıştır.) ve V serbest akış hızını temsil etmektedir. Aerodinamik verimlilik (L/D oranı) ise boyutsuz katsayıların doğrudan birbirine oranlanmasıyla elde edilir:

$$\text{Verimlilik} = C_l / C_d \quad (4)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, beş farklı airfoil profili (**NACA 0012, NACA 2412, NACA 4412, S1223 ve SD7037**) üzerinde, üç farklı Reynolds sayısında (Re = 100 × 10^3, 200 × 10^3 ve 300 × 10^3) ve -2° ile +14° arasındaki hücum açısı aralığında gerçekleştirilen 2D CFD analiz sonuçları sunulmuş ve fiziksel gerekçeleriyle tartışılmıştır.

Simülasyonlardan elde edilen kritik sınır değerler Çizelge 2 ve Çizelge 3'te özetlenmiştir. Çizelge 2'deki veriler incelendiğinde; tüm tasarımlar arasında en yüksek kaldırma katsayısını (C_L = 1.649) Re = 200 × 10^3 ve 10° hücum açısında S1223 profili vermiştir. Maksimum aerodinamik verimlilik (C_L/C_D) tarafında ise SD7037 profili öne çıkmış, Re = 300 × 10^3 ve 6° açıda 47.25 değerine ulaşarak en verimli profil olmuştur. Simetrik kesitli NACA 0012 profili maksimum verim değerlerine 4° ve 6° açılarda ulaşırken (örneğin Re = 300 × 10^3 için 18.30), Çizelge 3'teki minimum değerlerde görüldüğü gibi -2° açıda negatif kaldırma (Re = 100 × 10^3 için -0.223) üretmiştir. Buna karşılık kamberli NACA 2412 profili -2° açıda sıfır veya sıfıra yakın pozitif değerler sergilemiştir.

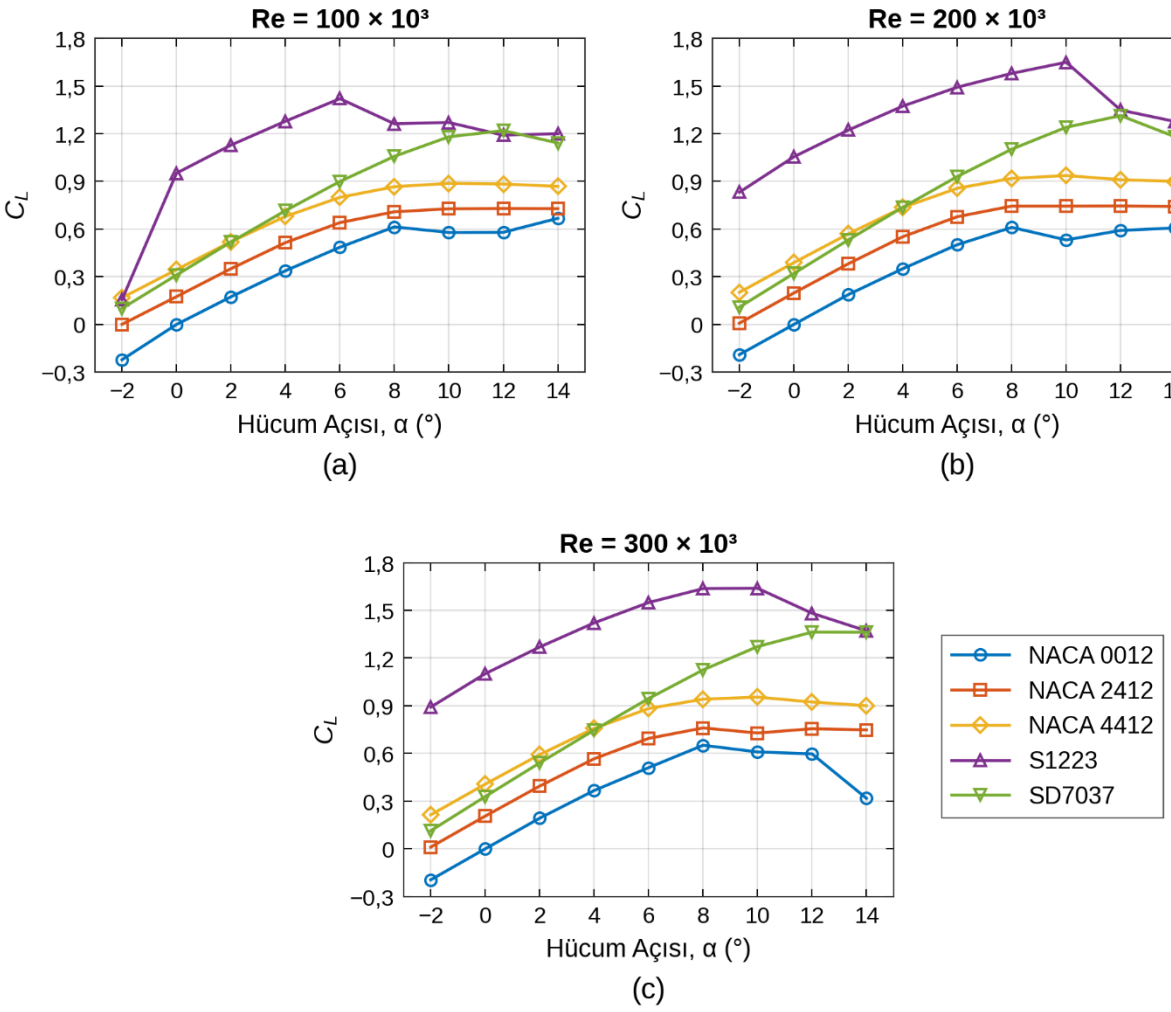
Çizelge 2. Maksimum Kaldırma ve Verim Değerleri

Airfoil	Re	Max C_L	AoA	Max C_L/C_D	AoA
NACA 0012	100	0.667	14°	14.70	6°
NACA 0012	200	0.610	8°	16.70	6°
NACA 0012	300	0.651	8°	18.30	4°
NACA 2412	100	0.729	12°	19.77	4°
NACA 2412	200	0.745	12°	25.05	4°
NACA 2412	300	0.760	8°	26.95	4°
NACA 4412	100	0.887	10°	24.25	4°
NACA 4412	200	0.936	10°	30.62	4°
NACA 4412	300	0.954	10°	34.41	4°
S1223	100	1.420	6°	28.20	2°
S1223	200	1.649	10°	35.94	2°
S1223	300	1.639	10°	39.66	2°
SD7037	100	1.219	12°	35.96	6°
SD7037	200	1.313	12°	42.27	6°
SD7037	300	1.363	12°	47.25	6°

Çizelge 3. Minimum Kaldırma ve Verim Değerleri

Airfoil	Re	Min C_L	AoA	Min C_L/C_D	AoA
NACA 0012	100	-0.223	-2°	-10.62	-2°
NACA 0012	200	-0.191	-2°	-10.05	-2°
NACA 0012	300	-0.196	-2°	-11.53	-2°
NACA 2412	100	0.000	-2°	0.00	-2°
NACA 2412	200	0.007	-2°	0.37	-2°
NACA 2412	300	0.010	-2°	0.56	-2°
NACA 4412	100	0.167	-2°	6.16	14°
NACA 4412	200	0.201	-2°	6.61	14°
NACA 4412	300	0.213	-2°	6.72	14°
S1223	100	0.156	-2°	2.48	-2°
S1223	200	0.831	-2°	6.41	14°
S1223	300	0.891	-2°	7.62	14°
SD7037	100	0.100	-2°	5.56	-2°
SD7037	200	0.108	-2°	7.20	-2°
SD7037	300	0.113	-2°	8.07	-2°

Görsel 7'deki C_L– Hücum Açısı eğrileri incelendiğinde; incelenen tüm Reynolds sayılarında hücum açısının artışıyla birlikte kaldırma katsayısının stol (stall) açısına kadar belirgin bir doğrusal yükseliş sergilediği görülmektedir. Geometrik kamberi oldukça yüksek olan S1223 profili, tüm çalışma koşullarında en yüksek C_L değerlerini elde ederek eğrilerin en üstünde yer almıştır. Buna karşın simetrik kesite sahip NACA 0012 profili, kamber bulunmadığı için kaldırma üretimi bakımından diğer profillerin gerisinde kalmış ve grafikteki en düşük C_L değerlerini vermiştir.

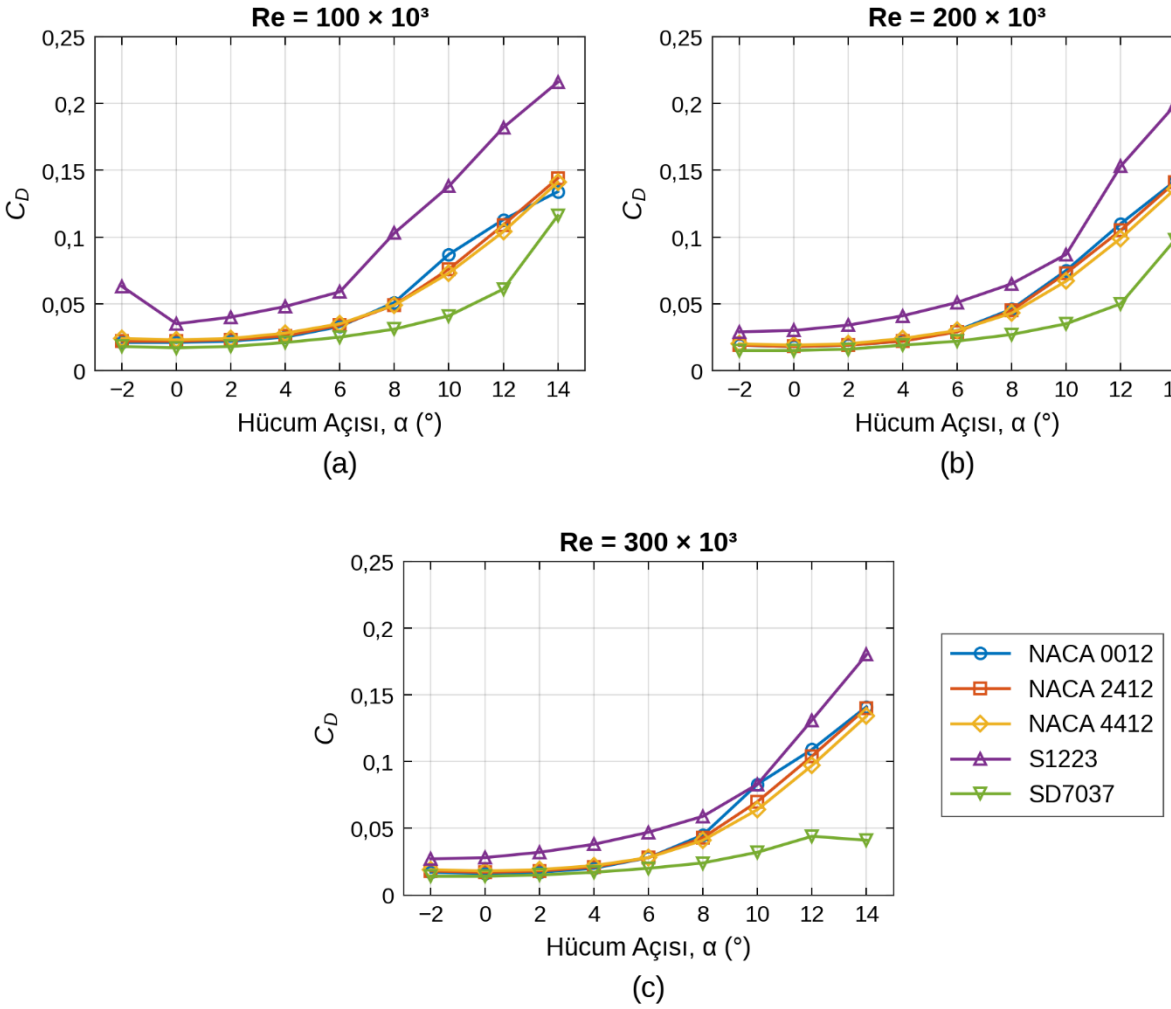


Görsel 7. Reynolds sayıları için incelenen airfoil profillerinin C_L (Kaldırma Katsayısı - Hücum Açısı) değişimi, (a) Re:100k, (b) Re:200k, (c) Re:300k

S1223 profili, tüm Reynolds sayılarında en yüksek maksimum kaldırma katsayısını üretmiştir. Maksimum (C_L) değeri Re=100 × 10³ için 1.420 iken Re=300×10³'te 1.639'a yükselmiş, yaklaşık %15.4 artış göstermiştir. SD7037 profilinde maksimum (C_L) değeri 1.219'dan 1.363'e çıkarak yaklaşık %11.8 artmıştır. Re=300×10³ koşulunda S1223'ün maksimum (C_L) değeri 1.639 iken SD7037'de 1.363 olarak elde edilmiş; S1223 yaklaşık %20 daha yüksek kaldırma katsayısı üretmiştir. Aynı Reynolds sayısında NACA4412'nin maksimum (C_L) değeri 0.954, NACA2412'nin ise 0.760 olup NACA4412 yaklaşık %25.5 daha yüksek maksimum kaldırma sağlamıştır.

Görsel 8'deki CD – Hücum Açısı grafikleri incelendiğinde; düşük açılarda (özellikle -2° ile 4° arasında) tüm profillerin sürüklenme katsayılarının oldukça düşük ve birbirine yakın değerlerde

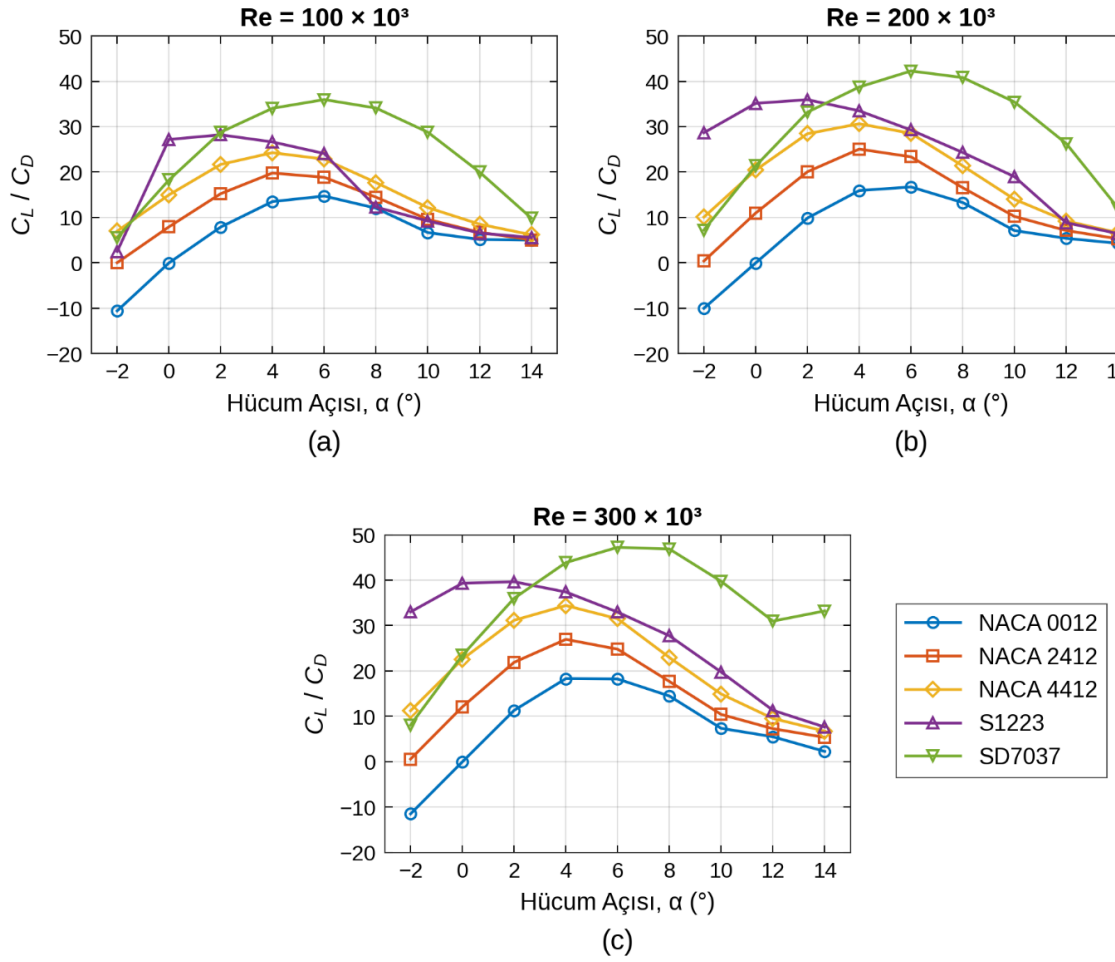
seyrettiği görülmektedir. Hücum açısı arttıkça form sürüklemesinin devreye girmesiyle eğriler parabolik şekilde yükselmeye başlamıştır. Özellikle 10° ve üzerindeki yüksek açılarda, S1223 profilinin sürüklenme katsayısında diğer profillere kıyasla çok daha keskin bir artış yaşandığı belirlenmiştir. SD7037 profili ise yüksek açılara çıkıldığında bile diğer kamberli profillere göre daha düşük sürüklenme değerleri vererek akış ayrılmasına karşı daha kararlı bir tutum sergilemiştir.



Görsel 8. Reynolds sayıları için incelenen airfoil profillerinin C_D (Sürüklenme Katsayısı - Hücum Açısı) değişimi (a) Re:100k, (b) Re:200k, (c) Re:300k.

S1223 profili, yüksek hücum açılarında (14°) tüm Reynolds sayılarında en yüksek sürükleme katsayısını (CD) üretmiştir. Maksimum (CD) değeri 14° hücum açısında Re=100×10³ için yaklaşık 0.22 seviyesindeyken, Re=300 × 10³'te 0.18 seviyelerine düşerek Reynolds sayısının artmasıyla sürüklemede iyileşme (azalma) göstermiştir. Yüksek açılara çıkıldığında en kararlı tutumu sergileyen SD7037 profilinde ise 14° açıda (CD) değeri Re=100 × 10³'te yaklaşık 0.12 iken, Re=300 × 10³'te belirgin bir düşüşle 0.04 seviyelerine inmiştir. Re=300 × 10³ koşulunda ve 14° hücum açısında S1223'ün maksimum (CD) değeri 0.18 iken SD7037'de sadece 0.04 olarak elde edilmiş; yani S1223 profili, SD7037'den yaklaşık 4.5 kat daha fazla sürükleme direnci oluşturmuştur. Aynı Reynolds sayısında (Re=300 × 10³) NACA 0012 ve NACA 2412'nin 14°'deki (CD) değerleri 0.14 civarında bulunmuş olup, NACA 4412 yaklaşık 0.13 değeri ile onlara kıyasla daha düşük bir sürükleme üretmiştir.

Görsel 9'da yer alan C_L/C_D verim eğrileri değerlendirildiğinde, profillerin çalışma aralıklarındaki aerodinamik performansları belirginleşmektedir. SD7037 profili tüm Reynolds koşullarında en yüksek maksimum C_L/C_D değerlerini vererek aerodinamik verimlilik açısından en üstte konumlanmıştır. Maksimum verimlilik tüm profiller için ağırlıklı olarak 4° - 6° hücum açısı aralığında elde edilmiş, bu seviyenin üzerindeki açılarda artan sürükleme kuvvetinin (Görsel 8) etkisiyle verim değerleri hızlı bir şekilde düşmüştür.



Görsel 9. Reynolds sayıları için incelenen airfoil profillerinin C_L/C_D(Verimlilik) değişimi. (a) Re:100k, (b) Re:200k, (c) Re:300k.

Aerodinamik verim açısından en yüksek değerler SD7037 profilinde elde edilmiştir. SD7037'nin maksimum (C_L/C_D) oranı Re=100 × 10³'te 35.96 iken Re=300 × 10³'te 47.25'e yükselerek yaklaşık %31.4 artmıştır. Re=300×10³ koşulunda SD7037'nin maksimum verim değeri 47.25, S1223'ün ise 39.66 olmuş ve SD7037 yaklaşık %19.1 daha yüksek (C_L/C_D) oranı sağlamıştır. Aynı Reynolds sayısında NACA4412'nin maksimum (C_L/C_D) değeri 34.41 iken NACA2412'de 26.95 olarak bulunmuş; NACA4412 yaklaşık %27.7 daha yüksek aerodinamik verim göstermiştir. NACA0012'de maksimum (C_L/C_D) değerinin 14.70'ten 18.30'a yükselmesi ise yaklaşık %24.5'lik bir artışa karşılık gelmektedir.

3.1. Basınç Dağılımlarının Karşılaştırmalı Analizi (Pressure Konturları ve Yorumları)

ANSYS Fluent ortamında gerçekleştirilen 2D CFD simülasyonları sonucunda elde edilen statik basınç konturları; NACA serisi (0012, 2412, 4412) ile S1223 ve SD7037 kanat profillerinin etrafındaki akış alanını ve taşıma kuvvetinin (L) fiziksel kökenini oluşturan alt-üst yüzey basınç

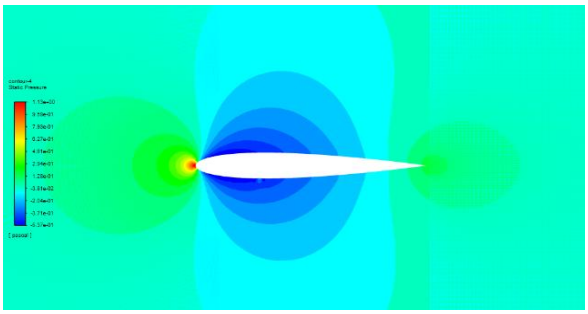
farklarını net bir şekilde sergilemektedir. Akışkanın kinetik enerjisi ile statik basınç arasındaki dönüşümü ifade eden Bernoulli denklemi aşağıda verilmiştir:

$$P + \frac{1}{2}\rho V^2 \quad (5)$$

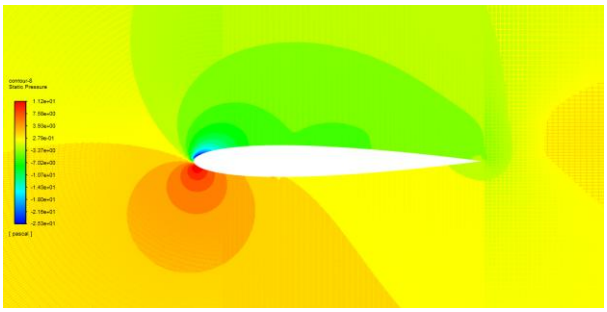
Tüm profillerin hücum kenarında (leading edge), serbest akış hızının yerel olarak sıfıra düştüğü (V = 0) ve kinetik enerjinin tamamen statik basınca dönüştüğü maksimum basınç bölgesi (durma noktası, Pmax) kırmızı ve turuncu renk tonlarıyla belirginleşmiştir. α = 0° hücum açısında durma noktası tam profil burnunda konumlanırken, hücum açısının α = 10° 'ye çıkarılmasıyla birlikte durma noktası profilin alt yüzeyine doğru kaymıştır (Görsel 10. (b), (h), (i)). Bu konum değişimi, alt yüzeye giren akışı yavaşlatırken üst yüzeye yönelen akışın ivmelenmesini şiddetlendirmiştir.

Profil kamberliğinin (eğriliğinin) artması, üst yüzeyden geçen akış hatlarının sıkışmasına ve akış hızının yükselmesine yol açmıştır. Bernoulli prensibi uyarınca, hızlanan akış bölgesi statik basıncın düşmesine ve üst yüzeyde geniş bir alçak basınç (emme zirvesi - suction peak) alanının oluşmasına neden olmuştur. Örneğin, NACA 0012 profili geometrik simetrisinden dolayı α = 0°'de üst ve alt yüzeylerde tamamen simetrik bir basınç dağılımı sergilerken (Görsel 10.(a)), α = 10°'de hücum kenarı üst yüzeyinde belirgin bir emme zirvesi oluşturmuştur (Görsel 10.(b)). Buna karşın yüksek kamber ve belirgin kavisli üst yüzey geometrisine sahip olan S1223 profili, henüz α = 0° 'de dahi üst yüzeyinde oldukça derin bir alçak basınç bölgesi meydana getirmiştir (Görsel 10.(g)). Aynı profil α = 10° ve Re = 300 × 10^3 koşulunda hücum kenarında güçlü bir emme zirvesi üreterek incelenen profiller arasında en yüksek net taşıma kuvvetini (C_L) oluşturan fiziksel mekanizmayı doğrulamıştır (Görsel 10.(h)).

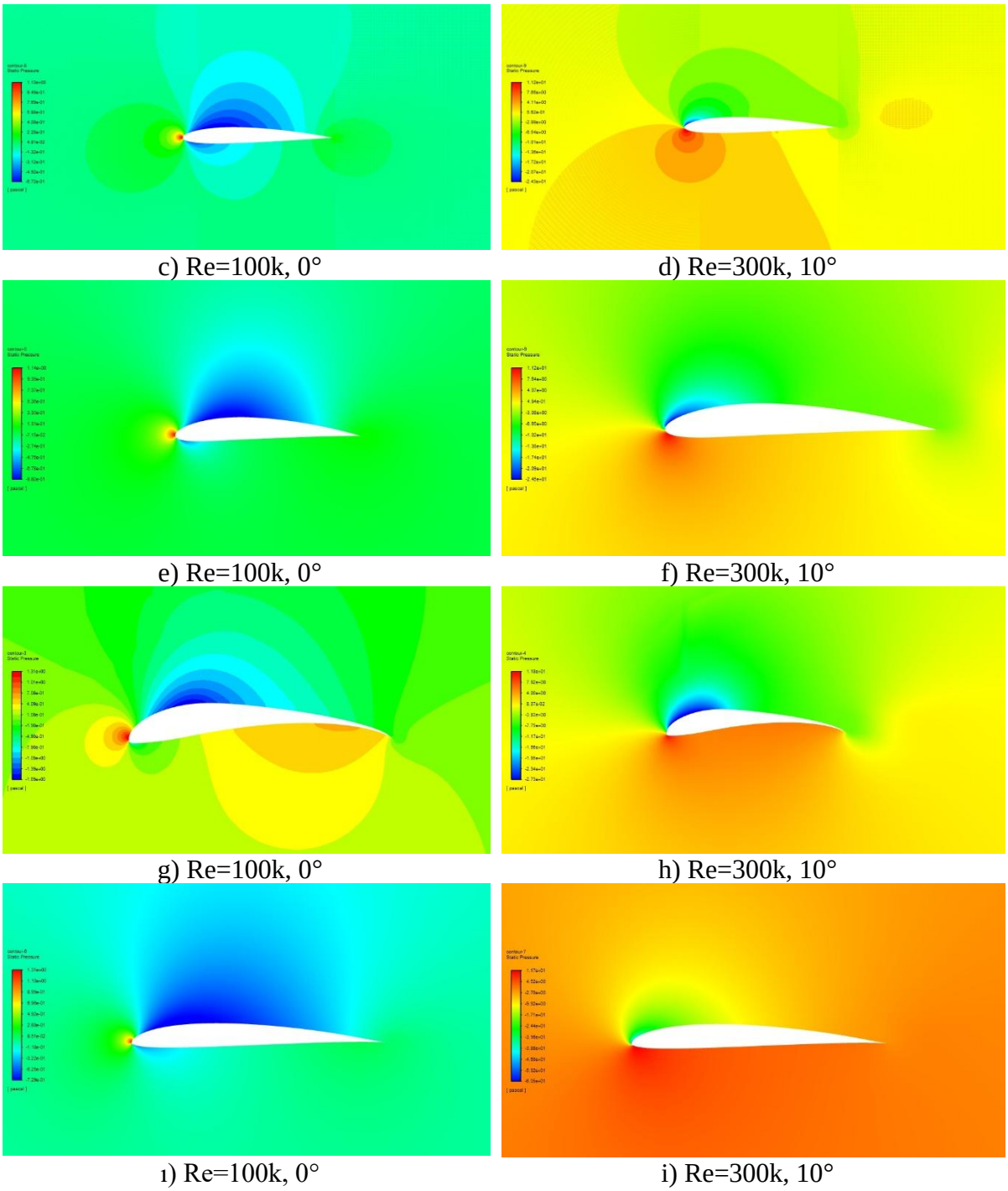
Geleneksel NACA profillerinde alt yüzey düz veya hafif kavisli bir yapı sergilerken, S1223 profilinin özel tasarlanmış içbükey alt yüzey, alt yüzeyde akışı yavaşlatarak statik basıncın yüksek kalmasını sağlamıştır (Görsel 10.(g)-(h)). Üst yüzeydeki yüksek emme ile alt yüzeydeki bu güçlendirilmiş pozitif basınç arasındaki fark, yüksek kamberli profillerin taşıma kapasitesini domine etmiştir. Ancak α = 10° hücum açısında, özellikle S1223 profilinin hücum kenarındaki keskin alçak basınç noktasından firar kenarına (trailing edge) doğru ilerledikçe statik basınç hızla artmaktadır. Oluşan bu ters basınç gradyanı (adverse pressure gradient), sınır tabaka içerisindeki düşük kinetik enerjili akışkan parçacıklarını yavaşlatarak akış ayrılması (separation) riskini artırmaktadır. SD7037 profili ise bu basınç gradyanını akış boyunca daha kademeli ve yumuşak bir geçişle dağıtarak (Görsel 10.(i)) akışın yüzeye tutunmasını kolaylaştırmış ve yüksek aerodinamik verimlilik sergilemiştir.



a) Re=100k, 0°



b) Re=300k, 10°



c) Re=100k, 0° d) Re=300k, 10°

e) Re=100k, 0° f) Re=300k, 10°

g) Re=100k, 0° h) Re=300k, 10°

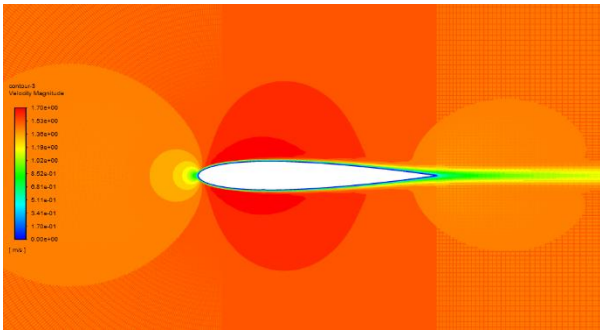
ı) Re=100k, 0° i) Re=300k, 10°

Görsel 10. İki farklı hız ve açıdaki basınç (pressure) konturları ((a)-(b): NACA0012 profili için, (c)-(d): NACA2412 profili için, (e)-(f): NACA4412 profili için, (g)-(h): S1223 profili için, (ı)-(i): SD7037 profili için)

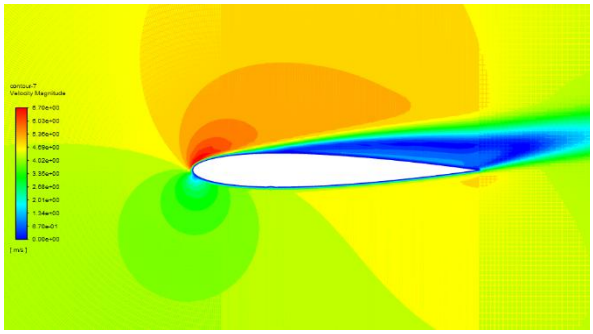
3.2. Hız Alanları ve Akış Ayrılması Analizi (Velocity Konturları ve Stall İncelemesi)

Görsel 11'de NACA 0012, NACA 2412, NACA 4412, S1223 ve SD7037 profillerine ait hız konturları, farklı Reynolds sayıları ($Re=100 \times 10^3$ ve $Re=300 \times 10^3$) ve hücum açıları (0° ve 10°) için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Hız konturlarında kırmızı ve turuncu renkler serbest akıştan daha yüksek hız bölgelerini, sarı ve yeşil tonlar orta hız seviyelerini, mavi ve lacivert tonlar ise durgun veya düşük hız bölgelerini temsil etmektedir. Analizlerde özellikle

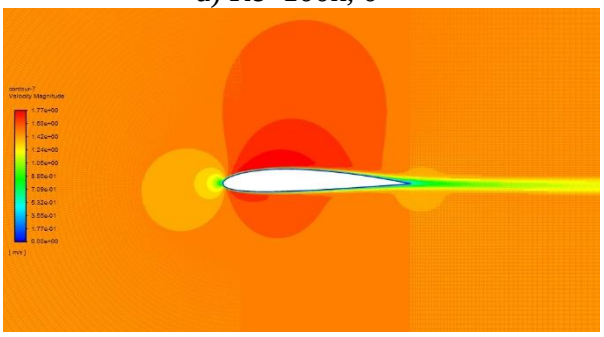
profil üst yüzeyi ve firar kenarı (trailing edge) bölgesinde oluşan düşük hızlı iz (wake) bölgelerinin büyüklüğü, akışın yüzeye tutunma durumu ve olası akış ayrılması (separation) eğilimi açısından değerlendirilmiştir.



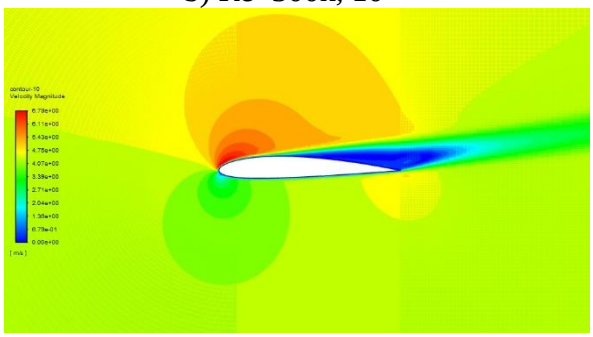
a) Re=100k, 0°



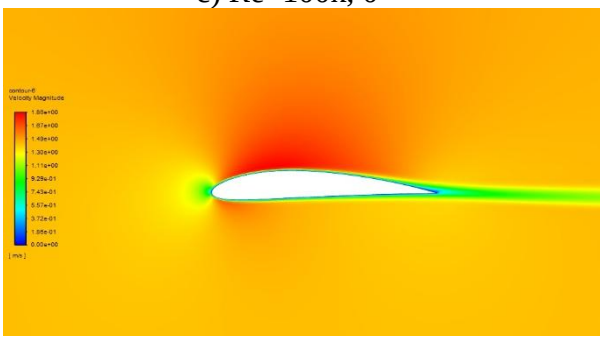
b) Re=300k, 10°



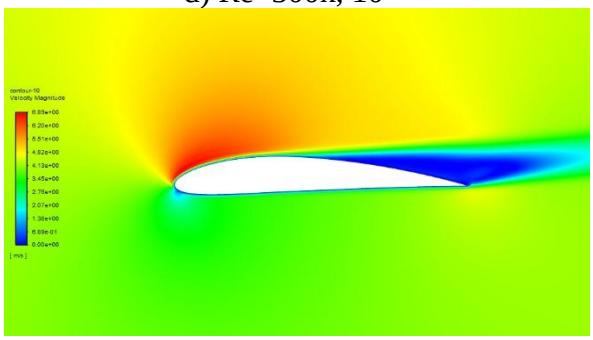
c) Re=100k, 0°



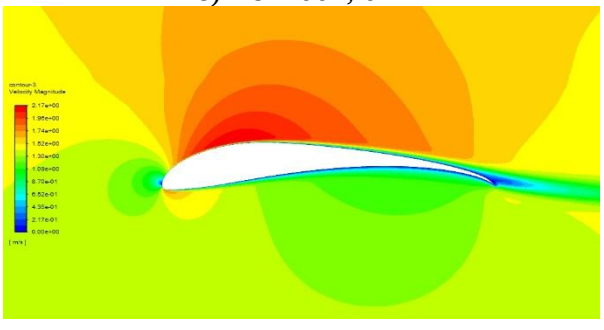
d) Re=300k, 10°



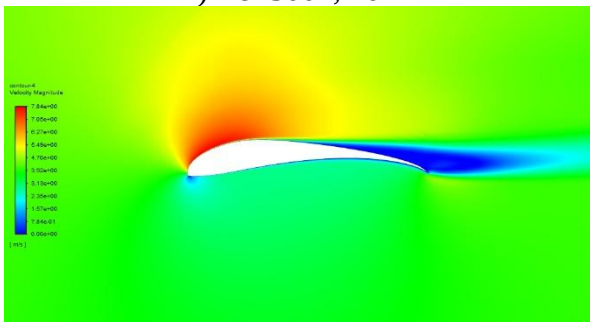
e) Re=100k, 0°



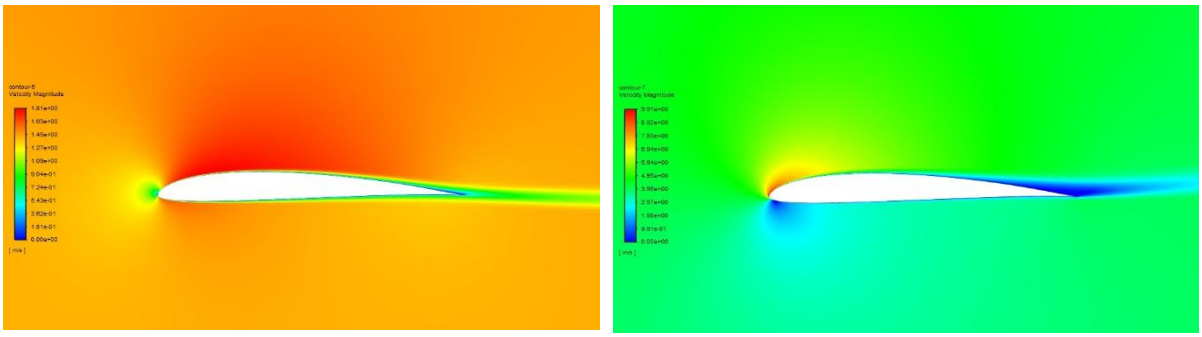
f) Re=300k, 10°



g) Re=100k, 0°



h) Re=300k, 10°



ı) Re=100k, 0° i) Re=300k, 10°

Görsel 11. İki farklı hız ve açıdaki hız (velocity) konturları ((a)-(b): NACA0012 profili için, (c)-(d): NACA2412 profili için, (e)-(f): NACA4412 profili için, (g)-(h): S1223 profili için, (ı)-(i): SD7037 profili için)

NACA 0012 profiline ait Görsel 11.(a)-(b) incelendiğinde, simetrik geometrisi nedeniyle Re=100 × 10^3 ve 0° hücum açısında profil çevresindeki hız dağılımının büyük ölçüde simetrik olduğu ve firar kenarı sonrasında yalnızca çok ince bir iz bölgesi (wake) oluştuğu görülmektedir. Bu koşulda herhangi bir akış ayrılması (separation) gözlenmemektedir. Ancak hücum açısı 10°'ye ve Reynolds sayısı 300 × 10^3'e çıkarıldığında, hücum kenarı (leading edge) üst yüzeyinde ciddi bir akış hızlanması (kırmızı bölge) gerçekleşirken, firar kenarına doğru mavi ve lacivert tonlarla belirginleşen düşük hızlı geniş bir alan oluşmaktadır. Bu durum, artan hücum açısıyla birlikte sınır tabakanın kinetik enerjisinin düştüğünü ve akışın arka bölümde yüzeyden ayrılmaya (separation) başladığını işaret etmektedir. Tam bir stall (tutunma kaybı) durumu teyit edilemese de, akış ayrılmasının ve dolayısıyla form sürüklemesinin belirgin biçimde arttığı açıktır.

Kanat profillerinin kamber (eğrilik) miktarı arttıkça hız dağılımlarındaki asimetri belirginleşmektedir. NACA 4412 profiline (Görsel 11.(e)-(f)) ve NACA 2412 profiline (Görsel 11. (c)-(d)) bakıldığında, kamberli yapılarına bağlı olarak 0° hücum açısında dahi üst yüzeydeki akış hızlanmasının (turuncu/kırmızı bölgeler) alt yüzeye kıyasla çok daha baskın olduğu görülmektedir. NACA 4412'nin daha yüksek kamberli yapısı, NACA 2412'ye göre üst yüzeyde daha yüksek hızlara yol açmıştır. Her iki profilde de 10° hücum açısına çıkıldığında, üst yüzey boyunca uzanan kırmızı hızlı bölgeye rağmen firar kenarında NACA 0012'dekine benzer, ancak görece daha kontrollü bir mavi iz (wake) bölgesi oluşmaktadır. Bu durum kamberli NACA profillerinin söz konusu koşullarda akışı yüzeye bağlı tutma kabiliyetlerinin simetrik profillere göre daha başarılı olabildiğini göstermektedir.

Yüksek taşıma (lift) karakteristiğine sahip S1223 (Görsel 11.(g)-(h)) profili incelendiğinde, henüz Re=100 × 10^3 ve 0°hücum açısında dahi içbükey alt yüzeyde ciddi bir akış yavaşlaması görülürken, üst yüzeyde yüksek bir kırmızı/turuncu hızlanma bölgesi meydana geldiği tespit edilmiştir. 10°hücum açısına ulaşıldığında ise üst yüzeydeki hız farkı maksimuma ulaşmakta, ancak yüksek kamberin bedeli olarak profil arkasındaki düşük hızlı iz (wake) bölgesi oldukça genişlemektedir. Bu genişleme, artan sürtünme (drag) ve akış ayrılması eğilimine işaret etmektedir. SD7037 (Görsel 11.(ı)-(i)) profilinde ise 0°'de akışın oldukça düzenli geliştiği, 10°'de ise hızlanmanın dengeli dağıldığı ve firar kenarı sonrasında oluşan düşük hızlı wake alanının diğer kamberli profillere kıyasla daha sınırlı ve dar kaldığı görülmektedir. Bu aerodinamik davranış, SD7037 profilinin yüksek C_L/C_D (Aerodinamik Verimlilik) oranıyla doğrudan uyumludur.

Genel olarak hız konturları değerlendirildiğinde; hücum açısının artmasıyla profillerin üst yüzeylerinde hızlanmanın ivmelendiği, ancak bununla beraber firar kenarı bölgelerinde momentum kaybına uğrayan geniş düşük hızlı (mavi) wake alanlarının oluştuğu görülmektedir.

Bu bölgelerin büyümesi sınır tabaka ayrılmasının net bir göstergesidir. Elde edilen hız alanları daha önce incelenen statik basınç dağılımları ve aerodinamik katsayı (C_L, C_D) sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğinde; S1223 profilinin maksimum kaldırma kuvveti (C_L) üretiminde, SD7037 profilinin ise akış ayrılmasını geciktirerek yüksek aerodinamik verimlilik (C_L/C_D) sağlamada literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, beş farklı kanat profilinin (NACA 0012, NACA 2412, NACA 4412, S1223 ve SD7037) 100×10^3, 200×10^3 ve 300×10^3 Reynolds sayılarındaki ve -2° ile 14° hücum açısı aralığındaki aerodinamik performansları CFD yöntemiyle incelenmiştir. Genel hatlarıyla değerlendirildiğinde; S1223 profilinde Reynolds sayısındaki artışın atalet kuvvetlerini baskın hale getirerek sınır tabakaya enerji kazandırdığı, böylece viskoz sürtünme kaynaklı sürüklemeyi azaltıp akış ayrılmasını (stall) daha yüksek açılara ertelediği görülmüştür. Ayrıca profil kamber (eğrilik) miktarının artması üst yüzeydeki akışı ivmelendirerek kaldırma kuvvetini doğrudan artırmış, ancak form sürüklemesindeki artış nedeniyle sürükleme katsayılarını da yükseltmiştir.

Elde edilen kuvvet katsayıları (C_L, C_D) ve basınç/hız konturları doğrultusunda profillerin tasarım gereksinimlerine göre kullanım alanları değerlendirilmiştir. Simetrik yapıdaki NACA 0012 profili 0° hücum açısında net bir kaldırma üretmezken, düşük sürükleme değerleri ve simetrik aerodinamik tepkisi sayesinde ters uçuş kabiliyeti istenen akrobasi uçaklarında, helikopter rotor pallerinde ve dikey stabilizatörlerde (kuyruk) kullanılabilecek profiller arasındadır. Genel maksatlı havacılık profilleri olan NACA 2412 ve 4412 ise dengeli bir aerodinamik yapı sunmaktadır; NACA 2412 seyir hızının öne çıktığı standart sabit kanatlı İHA'lar için uygun bir seçenek olarak görünürken, kamberi daha yüksek olan NACA 4412 nispeten daha fazla taşıma kapasitesi gerektiren hafif kargo platformlarında tercih edilebilir.

Özel tasarımlı profiller incelendiğinde, yüksek taşıma (high-lift) odaklı Selig S1223 profilinin içbükey alt yüzeyinde statik basıncın yüksek kalması sayesinde0° açıda dahi yüksek bir kaldırma ($Re \geq 200\times10^3$ için $CL > 1,0$) ürettiği görülmüştür. Yüksek açılardaki erken stol eğilimine ve arka bölgedeki geniş iz (wake) alanının yarattığı sürüklemeye rağmen; uçuş hızının ikinci planda kaldığı, dar alandan kalkış yapabilen ve ağır faydalı yük (sıvı tankı vb.) taşıyan otonom zirai ilaçlama İHA'ları için öne çıkan bir adaydır. SD7037 profili ise S1223 kadar yüksek taşıma değerleri vermese de akışın yüzeye çok daha uzun süre tutunduğu, kararlı ve düşük sürüklemeli bir yapı sergilemiştir. Bu özelliği, onu havada kalış süresinin (endurance) ve menzilin kritik olduğu planörler ile uzun menzilli gözlem/haritalama dronlarında en verimli seçenek haline getirmektedir.

Sonuç olarak; aerodinamik profil seçiminin görev tanımına bağlı bir optimizasyon problemi olduğu anlaşılmaktadır. Simetrik aerodinamik tepki ve ters uçuş kabiliyeti isteniyorsa simetrik profiller (NACA 0012), dengeli genel amaçlı kullanım için orta kamberli profiller (NACA 2412, 4412), ağır yük taşıma kapasitesi bekleniyorsa yüksek kamberli profiller (S1223), uzun menzil ve havada kalış süresi bekleniyorsa aerodinamik verimi yüksek profiller (SD7037) tercih edilmelidir.

Bu çalışmada analizler iki boyutlu, sürekli ve tam türbülanslı SST k–ω modeliyle yapılmış olup laminer ayrılma kabarcığı etkileri modellenmemiştir. Gelecek çalışmalarda geçiş modelli (Transition SST) analizler ve deneysel verilerle doğrulama yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Anderson, J. D. (2017). Fundamentals of Aerodynamics (6th ed.). McGraw-Hill Education.

2. Abbott, I. H., & Von Doenhoff, A. E. (1959). Theory of Wing Sections, Including a Summary of Airfoil Data. Dover Publications, New York.

3. Carmichael, B. H. (1981). Low Reynolds number airfoil survey: Volume 1 (NASA-CR-165803-VOL-1). NASA.

4. Selig, M. S., Donovan, J. F., & Fraser, A. J. (1989). Airfoils at low speeds. Soartech Publications, Virginia, USA.

5. Menter, F. R. (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. AIAA Journal, 32(8), 1598-1605.

6. Selig, M. S., & Guglielmo, J. J. (1997). High-lift low Reynolds number airfoil design. Journal of Aircraft, 34(1), 72-79.

7. Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd ed.). Pearson Education.

8. Langtry, R. B., & Menter, F. R. (2009). Correlation-based transition modeling for unstructured parallelized computational fluid dynamics codes. AIAA Journal, 47(12), 2894–2906.

9. Genç, M. S., Kaynak, Ü., & Yapıcı, H. (2011). Performance of transition model for predicting low Re aerofoil flows without/with single and simultaneous blowing and suction. European Journal of Mechanics - B/Fluids, 30(2), 218–235.

10. Kurtuluş, D. F. (2019). Unsteady aerodynamics of a pitching NACA 0012 airfoil at low Reynolds number., International Journal of Micro Air Vehicles, 11

11. ANSYS Inc. (2024). ANSYS Fluent Theory Guide, Release 2020 R1. ANSYS, Inc., Canonsburg, PA.

12. AirfoilTools Database. Airfoil Search and Comparison Tools. Erişim adresi: https://airfoiltools.com

AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE FRAMEWORK COMBINING SENTIMENT CLASSIFICATION, LARGE LANGUAGE MODEL-BASED SUMMARIZATION, AND FUZZY LOGIC EVALUATION FOR THE ANALYSIS OF TURKISH E-COMMERCE REVIEWS

Assoc. Prof. Dr. Erdal ÖZBAY

Firat University, Department of Computer Engineering

erdalozbay@firat.edu.tr, 0000-0002-9004-4802

Assoc. Prof. Dr. Feyza ALTUNBEY ÖZBAY

Firat University, Faculty of Engineering, Department of Software Engineering

faltunbey@firat.edu.tr, 0000-0003-0629-6888

Prof. Dr. Ahmet Bedri ÖZER

Firat University, Department of Computer Engineering

bedriozer@firat.edu.tr, 0000-0002-8005-7386

ÖZET

The volume of user reviews accumulated on e-commerce platforms makes it difficult for both consumers and sellers to reach a well-informed decision about product quality. This paper summarizes an integrated artificial intelligence framework, developed to analyze Turkish e-commerce reviews, that combines transformer-based sentiment classification, instruction-tuned large language model summarization, and fuzzy logic-based product evaluation within a single end-to-end system. A BERTurk 128k model, fine-tuned on a class-balanced dataset of 183,333 reviews collected from Trendyol, Amazon Turkey, and Hepsiburada, achieved a macro F1 score of 0.9243 on the test set. Multilingual summarization models pretrained on news text were observed to fail to adapt to everyday review language; a Turkish-specific instruction-tuned model, Kumru-2B, was used instead to generate sentiment-aware summaries. A Mamdani-type fuzzy inference system was also designed to reduce sentiment distribution, seller reliability, star rating, and review volume into a single interpretable score. Unlike the journal publication, this paper briefly summarizes the study's methodology and presents a few selected highlighted findings (classification performance, summarization comparison, and fuzzy scoring results).

Anahtar Kelimeler: Turkish sentiment analysis, BERTurk, Large language model summarization, Fuzzy logic, E-commerce

1. INTRODUCTION

Given a review set $\mathcal{P} = \{r_1, \ldots, r_n\}$ on an e-commerce product page, each r_i is a token sequence of at most length L over a finite vocabulary $\mathcal{V}$, i.e., $r_i \in \mathcal{V}^L$. The size of the raw representation space is on the order of $|\mathcal{V}|^L$, and this dimensionality grows even further in Turkish, which has an agglutinative morphology. The problem, contrary to what is frequently claimed, is not

merely that “reading a large number of reviews by hand is tedious”; the real bottleneck is the absence of a transformation that can move from this high-dimensional, discrete symbolic space to a low-dimensional, interpretable output space meaningful for decision-making, while minimizing information loss.

Within a natural language processing framework, this transformation can be formulated as three distinct sub-problems: (i) sentiment classification, a classification function φ_1: $\mathcal{V}^L \to \Delta^2$ that maps each review onto a probability distribution over the 3-simplex; (ii) summarization, a generative transformation φ_2: $\mathcal{V}^{(L \cdot n_g)} \to \mathcal{V}^{(L')}$ that maps a group of reviews onto a shorter token sequence ($L' < L \cdot n_g$); and (iii) multi-criteria evaluation, an aggregation function φ_3: $\mathbb{R}^4 \to \mathbb{R}$ that reduces heterogeneous numerical signals to a single scalar. Each sub-problem carries its own difficulties with respect to the statistical properties of its input space (vocabulary size $|\mathcal{V}|$, sequence length L, class-imbalance ratio); a growing $|\mathcal{V}|$ directly increases the sample complexity required to learn φ_1 and φ_2.

In the related literature, sentiment classification of Turkish e-commerce reviews has employed traditional machine learning methods such as support vector machines and random forests [2], followed by BERT-based transformer models [3]; it has also been shown that star ratings alone do not fully reflect the text-based sentiment signal [4]. For φ_2, classical extractive methods such as graph-centrality-based TextRank [5] have been widely used, but they struggle to produce consistent output on informal, irregular review text. Prior work has also supported that using large language models as automatic annotators can achieve competitive accuracy compared with human annotators on certain tasks [6], and that fuzzy logic produces more human-like results than weighted averages in φ_3-type aggregation tasks [7]; this latter finding directly underlies the design motivation of the Fuzzy Box module in the present study.

The core novelty of this study is that it combines a Transformer-based dense vector encoder realizing φ_1 with a Mamdani fuzzy inference system realizing φ_3 into a single end-to-end composite function, without requiring manual handling of intermediate representations. The system as a whole can be defined as a composite transformation Ψ that maps from the raw token space to an interpretable score space (Equation 1):

$$\Psi: \mathcal{V}^L \to [0,10], \quad \Psi = F \circ Agg \circ g_\varphi \circ f_\theta \tag{1}$$

where f_θ: $\mathcal{V}^L \to \mathbb{R}^d$ is the dense representation function of the BERTurk encoder, g_φ: $\mathbb{R}^d \to \Delta^2$ is the classification head, Agg: $\Delta^2 \times \mathbb{R}^3 \to [0,10]^4$ is the aggregation step that combines the sentiment distribution with the seller score, star rating, and review volume, and F: $[0,10]^4 \to [0,10]$ is the Mamdani fuzzy inference function. By combining sub-symbolic (Transformer-based, continuous) representations with symbolic/interpretable (fuzzy rule-based) inference in a single computational graph, this composite structure integrates end-to-end two paradigms previously treated separately in the literature [1]. Unlike the related publication, this paper briefly introduces the methodology and presents only a selection of the obtained results.

The main contributions of the study can be summarized as follows:

- Proposing an end-to-end architecture that combines a dense Transformer encoder performing sentiment classification (f_θ, g_φ) with an interpretable Mamdani fuzzy inference (F) into a single composite transformation Ψ;
- Presenting a large-scale, class-balanced Turkish e-commerce review dataset of 183,333 examples collected from three major platforms;
- Showing that data diversity and class balance are more decisive than encoder vocabulary $|\mathcal{V}|$ expansion for Turkish sentiment classification (φ_1);

- Demonstrating that instruction-tuned Turkish large language models are markedly superior to news-focused multilingual models for summarizing everyday review text (φ_2);
- Designing an interpretable fuzzy inference mechanism (φ_3) that converts heterogeneous product signals ($\mathbb{R}^4 \rightarrow [0,10]$) into a transparent score.

2. METHOD

The proposed system consists of four main components: (1) multi-platform data collection and preprocessing, (2) BERTurk-based sentiment classification, (3) Kumru-2B-based sentiment-aware summarization, and (4) fuzzy logic-based product evaluation. Figure 1 shows the overall architecture of the system: a product URL is passed to the scraper, the resulting reviews are passed through the BERTurk classifier and the Kumru-2B summarizer in sequence, and the output is then processed by the Fuzzy Box module and converted into a JSON output labeled positive/neutral/negative.

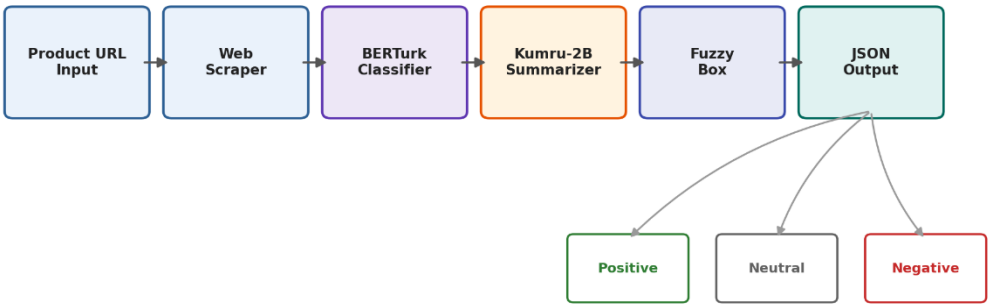


Figure 1. Overall architecture of the proposed system.

2.1. Data Collection and Preprocessing

In the data collection stage, a total of 494,000 raw reviews were collected from Trendyol, Amazon Turkey, and Hepsiburada; sentiment labeling was performed using GPT-4o mini and Gemini 2.5 Flash. Table 1 summarizes the number of raw reviews collected per platform and the number remaining after filtering/sampling.

Table 1. Raw data collected per platform and the number of reviews remaining after filtering.

Platform	Raw Data Collected	After Filtering	Filter Applied
Trendyol	582,601	59,791	Length (≥11 words)
Amazon TR	232,908	134,179	Language detection
Hepsiburada	2,657,073	300,000	Random sampling
Total	3,472,582	494,000	—

After labeling, whitespace normalization, removal of non-Turkish characters, and spelling correction with Gemini 2.5 Flash were applied to address typing errors frequently found in everyday Turkish user text. Duplicate reviews, identified via exact text matching across platforms, were removed. Stratified subsampling was applied to address class imbalance, yielding a balanced dataset of 183,333 reviews with 61,111 examples per class. This dataset

was split into 70% training, 15% validation, and 15% test subsets using a stratified split that preserves the class distribution.

2.2. Sentiment Classification Model

Sentiment classification was performed by fine-tuning BERTurk [10]. BERTurk is based on the Transformer encoder architecture [8], composed of multi-head self-attention layers. In each attention head, attention weights for a triplet of *Q* (query), *K* (key), and *V* (value) matrices are computed using the scaled dot-product attention function in Equation (2):

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}(QK^T / \sqrt{(d_k)}) V \quad (2)$$

where d_k is the dimensionality of the key vectors. Building on the contextual representations obtained through bidirectional pretraining [9], the final-layer representation of the [CLS] token, $h_CLS \in \mathbb{R}^d$, serves as the classification head and is converted into class probabilities via a linear layer and a softmax function (Equation 3):

$$\hat{y} = \text{softmax}(W\, h_CLS + b),\ \hat{y} \in \mathbb{R}^3 \quad (3)$$

Fine-tuning is performed by minimizing, over a batch of N examples, a cross-entropy loss extended with class weights (w^c) (Equation 4):

$$L = -(1/N) \Sigma_{i=1}^{N} \Sigma_{c=1}^{3} w^c\, y_{i,c}\, \log \hat{y}_{i,c} \quad (4)$$

AdamW with decoupled weight decay [11] was used for optimization: $\theta_{t+1} = \theta_t - \eta(\hat{m}_t/(\sqrt{\hat{v}_t}+\varepsilon) + \lambda\theta_t)$, where $\eta = 2\times10^{-5}$ is the learning rate and $\lambda = 0.01$ is the weight decay coefficient. Training was carried out with a batch size of 64, a maximum token length of 128, and a linear scheduler with a warm-up phase corresponding to 10% of total steps, for 4 epochs on an NVIDIA A100 80 GB GPU using Hugging Face Transformers and PyTorch (seed = 42). Two vocabulary variants of the model, with 32,000 and 128,000 subword units, were separately fine-tuned and compared under these conditions.

2.3. Sentiment-Aware Summarization Module

After classification, for each sentiment group g the corresponding reviews are concatenated as context, and Kumru-2B [12] autoregressively generates a summary ŷ; generation is modeled according to the probability chain rule, conditioned on a class-specific system prompt c_g (Equation 5):

$$P(y \mid x, c_g) = \prod_{t=1}^{T} P(y_t \mid y_{<t}, x, c_g; \theta) \quad (5)$$

Multilingual mT5-based models pretrained on news text produced an average ROUGE-L score of only 0.0532 against pseudo-reference summaries on this task and were found inadequate due to domain mismatch; instead, Kumru-2B, a 2-billion-parameter, Turkish-specific instruction-tuned model with a native 50,176-unit BPE tokenizer, was adopted. Based on structured prompt engineering principles [13], up to 20 reviews per class were concatenated as context; generation was carried out with a temperature of T = 0.3, a repetition penalty of r = 1.2, and a maximum of 150 new tokens. Keeping T low sharpens the output distribution via $\text{softmax}(z_t/T)$ (converging toward argmax as $T \to 0$), mathematically limiting the probability of sampling low-probability, hallucination-prone tokens; the repetition penalty $r > 1$, in turn, divides the logits of previously generated tokens to suppress cyclical repetition. Together, these two constraints keep the model's output entropy $H(P_T) = -\Sigma_i\, p_i(T) \log p_i(T)$ at a low level, yielding a deterministic, repetition-free generation regime that prioritizes factual consistency over diversity.

2.4. Fuzzy Logic-Based Evaluation Module

The evaluation module (Fuzzy Box) was designed as a Mamdani-type inference mechanism [15] built on Zadeh's fuzzy set theory [14]. The input vector $x = (x_1, x_2, x_3, x_4) \in [0,10]^4$ consists of four variables rescaled to the [0,10] range (Equation 6):

$$x_1=10\cdot(n_+/n),\ x_2=(r-1)/4\cdot 10,\ x_3=\text{clip}(s,0,10),\ x_4=\min(c/100,10) \quad (6)$$

where n_+/n is the positive-review ratio produced by BERTurk, $r \in [1,5]$ is the average star rating, s is the seller score, and c is the total number of reviews. Each x_i is fuzzified into low/medium/high linguistic categories using a triangular membership function parameterized by (a,b,c) (Equation 7):

$$\mu(x) = \max(\ \min(\ (x-a)/(b-a),\ (c-x)/(c-b)\ ),\ 0\ ) \quad (7)$$

The system's "smart" aspect specific to e-commerce data lies in the fact that these (a,b,c) boundary parameters are calibrated from the empirical distributions in the collected dataset rather than from a generic assumption. For the positive-ratio (x_1) and average-rating (x_2) variables, the boundaries (a,b,c) = (3, 6, 9) were used, based on the observation that below 3 represents the low-satisfaction region, around 6 the medium level, and above 9 the strong positive-perception region. For the seller score (x_3), a narrower upper bound was adopted, with (a,b,c) = (3, 6, 8) parameters, to reflect the compressed upper range observed in the platform data. This data-calibrated parametrization models the fact that the same numerical input can have different linguistic correspondences across different variables, ensuring that the rule base aligns with actual platform distributions.

In the rule base of 15 fuzzy IF-THEN rules, the firing strength w_i of each rule R_i is computed as the Mamdani AND (minimum) combination of its antecedent memberships (Equation 8):

$$w_i = \min(\ \mu_A(x_j),\ \mu_B(x_k),\ \dots\ ) \quad (8)$$

Input variables can carry conflicting signals; for example, a high positive ratio ($\mu_high(x_1) \approx 1$) and a low seller score ($\mu_low(x_3) \approx 1$) may be observed simultaneously. In this case, the set of firing strengths $b = (b_1,\dots,b_m)$ arising from the relevant rules is reduced to a single consensus value using the ordered weighted averaging (OWA) operator [16]. The firing strengths are first sorted in decreasing order, $b_{(1)} \geq b_{(2)} \geq \dots \geq b_{(m)}$, and then combined with a weight vector $w = (w_1,\dots,w_m)$, $\Sigma_j w_j = 1$ (Equation 9):

$$\text{OWA}(b) = \Sigma_{j=1}^{m}\ w_j \cdot b_{(j)} \quad (9)$$

The "orness" degree of the weight vector w — the relative weight assigned to the highest-ranked (most optimistic) firing strength — was chosen close to neither a fully optimistic (max) nor a fully pessimistic (min) combination, so as to prevent a low seller score alone from excessively lowering the final score, or a high positive ratio from completely masking a low reliability signal; this yields a mathematically balanced consensus among conflicting criteria that is not overly sensitive to any single signal. The final score S is defuzzified as the OWA-reconciled, firing-strength-weighted average of the associated output values (s_i) (Equation 10) and is clipped to the [0,10] range (Equation 11):

$$S = \Sigma_i\ w_i\ s_i\ /\ \Sigma_i\ w_i \quad (10)$$

$$S^* = \min(\ \max(S,\ 0),\ 10\ ) \quad (11)$$

The value S* is mapped to five interpretable categories (High Satisfaction, Good, Conditional Recommendation, Low Satisfaction, Not Recommended) and supported by natural-language explanations derived from the fired rules. All four components are integrated end-to-end in a web platform with a FastAPI-based backend and a React-based front end.

3. RESULTS

This section presents a few selected highlighted results rather than the study in its entirety. Evaluation relies on per-class precision ($P\mathcal{A}$), recall ($R\mathcal{A}$), and F1-score ($F1\mathcal{A}$), and on the macro F1 score, their equally weighted average over C = 3 classes (Equation 12):

$$\text{Macro-F1} = (1/C)\ \Sigma\mathcal{A}_{=1}{}^{c}\ (\ 2P\mathcal{A}R\mathcal{A}\ /\ (P\mathcal{A}+R\mathcal{A})\ ) \qquad (12)$$

Table 2 shows the validation-set macro F1 scores of three fine-tuning experiments conducted under different data-size and class-distribution conditions.

Table 2. Validation-set macro F1 scores under different experimental conditions.

Experiment	Data Size	Class Distribution	Macro F1
Exp. 1 (32k, Trendyol+Amazon)	69,184	Imbalanced	0.8834
Exp. 2 (128k, Trendyol+Amazon)	69,184	Imbalanced	0.8824
Exp. 3 (128k, +Hepsiburada)	183,333	Balanced (1:1:1)	0.9243

The results show that the effect of vocabulary size (32k vs. 128k) on performance remained limited, whereas increasing the data size to 183,333 by adding the Hepsiburada data and balancing the class distribution at a 1:1:1 ratio raised the macro F1 score from 0.8834 to 0.9243. This increase corresponds to a 4.6-point improvement over Experiment 1.

The per-class performance of the final model (Experiment 3) on the held-out test set is given in Table 3. The F1 score of the neutral class — generally the most difficult category to classify — reached 0.90, a marked improvement over the 0.80 value in Experiment 1.

Table 3. Per-class precision, recall, and F1 values of the final model on the test set.

Class	Precision	Recall	F1-Score
Negative	0.92	0.92	0.92
Neutral	0.90	0.90	0.90
Positive	0.95	0.95	0.95
Macro Avg.	0.92	0.92	0.9243

In the summarization component, tested on a product with 849 reviews, news-focused mT5 models produced an average ROUGE-L score of 0.0532 against pseudo-reference summaries and were found inadequate for this domain. Kumru-2B, in contrast, produced fluent, relevant, and coherent Turkish summaries, successfully capturing recurring themes such as hair softness and reduced shedding in positive reviews, and dryness and shipping damage in negative reviews.

For the same product, the Fuzzy Box module produced a score of 7.7/10 from inputs of a 0.844 positive ratio, a 4.92 average rating, and a 9.1 seller score, evaluating the product in the “Good” category. In additional tests across six different product categories, a poorly rated electronics product (positive ratio 0.302) was placed in the “Conditional Recommendation” category with

a score of 4.52, confirming that the system is sensitive to changes in sentiment distribution. Furthermore, a McNemar test ($\chi^2 = 60.09$; $p < 0.0001$) and a 10,000-iteration bootstrap analysis showed that the improvement obtained in Experiment 3 is statistically significant.

To test the model's generalization capacity, a zero-shot evaluation was performed on an external, human-labeled dataset (11,426 examples). The model achieved 73.33% accuracy; strong discriminative power was retained for the positive (F1 = 0.82) and negative (F1 = 0.80) classes, while a marked drop was observed for the neutral class (F1 = 0.47) — an expected outcome given that the neutral category also shows low agreement among human annotators.

Error analysis showed that misclassifications were predominantly concentrated in three patterns: reviews that praise only shipping speed and contain no opinion about the product being labeled positive; sarcastic or implicit complaints being classified as neutral due to the absence of explicit negative wording; and mixed-structure sentences of the form "X is missing but Y is good" being shifted toward the less extreme class.

4. DISCUSSION

The macro F1 difference between Experiment 1 (32k vocabulary, 69,184 examples, imbalanced distribution) and Experiment 3 (128k vocabulary, 183,333 examples, 1:1:1 balanced distribution) is $\Delta = 0.9243 - 0.8834 = 0.0409$, an absolute improvement of 4.09 points. To isolate the source of this difference, Experiment 1 was compared with Experiment 2: increasing the vocabulary alone from 32k to 128k (with the dataset and distribution held constant) changed the macro F1 from 0.8834 to 0.8824, a change of −0.0010 — statistically negligible. In contrast, increasing the data size from 69,184 to 183,333 and balancing the class distribution at a 1:1:1 ratio (Experiment 2 → Experiment 3), with vocabulary held constant, raised the macro F1 by 0.0419 points. In other words, approximately 98% of the total observed improvement (0.0419/0.0429) can be attributed to data size and class balance, and only about 2% to vocabulary expansion; this decomposition quantitatively demonstrates that sample size and class balance, rather than architectural capacity, are the dominant explanatory variables.

That this improvement is not due to chance was confirmed by a McNemar test applied to paired test predictions: $\chi^2(1) = 60.09$, $p < 0.0001$, i.e., the observed difference is not random with more than 99.99% confidence. The 95% confidence interval for macro F1, obtained via 10,000-iteration bootstrapping, is [0.9214; 0.9275], with a width of only 0.0061 — this low variance indicates that the model performs stably across different test subsamples, i.e., that the result does not depend on a single fortunate split. By class, the largest gain was observed for the neutral class (F1: 0.80 → 0.90, $\Delta = 0.10$); this is directly related to the Hepsiburada subset contributing 44,043 neutral examples (about 3 times the combined total of Trendyol and Amazon TR), and empirically supports the relationship between per-class sample size and F1 gain.

The success of the system's "smart" decision-support infrastructure is supported not only by the classification metric but also by the output consistency of the end-to-end pipeline. The Fuzzy Box module exhibited a non-linear but monotonic relationship with the positive ratio (x_1) across six different product categories: $S^* = 4.52$ (Conditional Recommendation) for $x_1 = 0.302$, $S^* = 7.14$ for $x_1 = 0.646$, and $S^* \in [7.84; 7.94]$ (Good) for x_1 in the range 0.844–0.949; in a parameter sensitivity analysis, under five different boundary configurations, the average maximum deviation was only 0.49 points (out of 10), and the category label remained unchanged for five of the six products. This low variance quantitatively shows that the transformation $F: [0,10]^4 \rightarrow [0,10]$ is robust to reasonably bounded uncertainty in the (a,b,c) parameters, and hence that

the output layer of the composite transformation Ψ is not excessively sensitive to arbitrary parameter choices.

The study has certain limitations: sentiment labels were generated by large language models rather than humans and may contain some label noise; the summarization component was evaluated qualitatively rather than with automatic metrics such as ROUGE or BERTScore; the system currently works only with a scraper specific to the Trendyol platform; and the fuzzy rule base was constructed manually by expert knowledge rather than in a data-driven manner.

5. CONCLUSION

This paper summarized an integrated artificial intelligence framework that combines sentiment classification, large language model-based summarization, and fuzzy logic evaluation for the analysis of Turkish e-commerce reviews. The findings show that balanced and diversified datasets are more decisive than small changes in model architecture, that Turkish-specific instruction-tuned language models provide a marked advantage over news-focused models in summarizing everyday review text, and that fuzzy inference is an effective tool for combining different quality signals in an interpretable manner. Future work plans to extend the system to other platforms, to measure label noise through human evaluation, and to optimize the fuzzy rule base using data-driven methods.

Funding: This research was supported by The Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) under the 1002A Program through project no: 125E955.

REFERENCES

[1] Özbay, E., Altunbey Özbay, F., & Özer, A. B. (2026). A Unified AI Framework for Turkish E-Commerce Review Analysis: Sentiment Classification, LLM-Based Summarization, and Fuzzy Evaluation. Applied Sciences, 16(12), 5849.

[2] Demircan, M., Seller, A., Abut, F., & Akay, M. F. (2021). Developing Turkish sentiment analysis models using machine learning and e-commerce data. International Journal of Cognitive Computing in Engineering, 2, 202-207.

[3] Açıkalın, U.U., Bardak, B., Kutlu, M. *Turkish sentiment analysis using bert*. In Proceedings of the 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Gaziantep, Turkey, 5–7 October 2020, pp. 1–4.

[4] Öcal, A. (2025). BERT-based sentiment analysis of Turkish e-commerce reviews: Star ratings versus text. Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences, 8(4), 677-687.

[5] Mihalcea, R., Tarau, P. *Textrank: Bringing order into text*. In Proceedings of the 2004 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Barcelona, Spain, 25–26 July 2004, pp. 404–411.

[6] Gilardi, F., Alizadeh, M., Kubli, M. *ChatGPT outperforms crowd workers for text-annotation tasks*. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 2023, 120, e2305016120.

[7] Şimşek, H., & Güvendiren, İ. (2023). Soft computing based e-commerce website service quality index measurement. Electronic Commerce Research and Applications, 61, 101303.

[8] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., ... & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. Advances in neural information processing systems, 30.

[9] Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019, June). *Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding*. In Proceedings of the 2019 conference of the North American chapter of the association for computational linguistics: human language technologies, pp. 4171-4186)

[10] Schweter, S. BERTurk – BERT Models for Turkish, v1.0.0, 2020.

[11] Loshchilov, I., Hutter, F. *Decoupled weight decay regularization*. In Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR), New Orleans, LA, USA, 6–9 May 2019.

[12] Vngrs-ai. Kumru-2B: A Turkish Large Language Model, Hugging Face, 2024.

[13] Chen, B., Zhang, Z., Langrené, N., Zhu, S. Unleashing the potential of prompt engineering for large language models. Patterns 2025, 6, 101260.

[14] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and control, 8(3), 338-353.

[15] Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1993). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. In *Readings in fuzzy sets for intelligent systems* (pp. 283-289). Morgan Kaufmann.

[16] Yager, R. R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics, 18(1), 183-190.

FURTHER GENERALIZATIONS OF SUMMABILITY FACTOR THEOREMS

Prof. Dr. Hikmet Seyhan ÖZARSLAN
Erciyes University,
seyhan@erciyes.edu.tr - 0000-0002-0437-032X

Assoc. Prof. Dr. Bağdagül KARTAL ERDOĞAN
Erciyes University,
bagdagulkartal@erciyes.edu.tr - 0000-0001-6223-0838

ABSTRACT

In this study, an existing summability factor theorem is further extended to a more general matrix summability framework. The result previously established for Riesz-type summability is generalized to broader absolute matrix summability method under suitable conditions on the involved sequences and matrix transformations. The proof is based on Abel's transformation, Hölder's inequality, and appropriate estimates of the transformed terms. The obtained result provides further extensions of known summability factor theorem and contributes to the development of generalized absolute matrix summability methods for infinite series.

Keywords: Absolute matrix summability, Infinite series, Riesz mean, Summability factors

1. INTRODUCTION

Let (τ_n) be a sequence. Observe that $\Delta\tau_n = \tau_n - \tau_{n+1}$, $\Delta^0\tau_n = \tau_n$ and for $k = 1, 2, ...$, the higher-order differences are defined by $\Delta^k\tau_n = \Delta\Delta^{k-1}\tau_n$ [1]. Let $\sum a_n$ be an infinite series with its partial sums (s_n). Let (p_n) be a sequence of positive numbers such that

$$P_n = \sum_{v=0}^{n} p_v \to \infty \ as \ \ n \to \infty, \ (P_{-k} = p_{-k} = 0, \ \ k \geq 1).$$

Let $T = (t_{nu})$ be a lower triangular matrix of non-zero diagonal entries. Then T defines the sequence-to sequence transformation, mapping the sequence $s = (s_n)$ to $Ts = (T_n(s))$, where

$$T_n(s)=\sum_{u=0}^{n} t_{nu}s_u \qquad n=0,1,...$$

Let (ϕ_n) be any sequence of positive real numbers. The series $\sum a_n$ is said to be summable $\phi-|T,\beta;\delta|_k$, $k\geq 1$, $\delta\geq 0$ and β is a real number, if [2]

$$\sum_{n=1}^{\infty}\phi_n^{\beta(\delta k+k-1)}\left|T_n(s)-T_{n-1}(s)\right|^k<\infty.$$

In the above inequality, by taking $\beta=1$, $\delta=0$, $\phi_n=P_n/p_n$ and $t_{nu}=\frac{p_u}{P_n}$, $|\overline{N},p_n|_k$ summability method [3] is obatined.

2. KNOWN RESULT

Bor [4] established the following theorem.

Theorem 2.1. Let (X_n) be a positive sequence and let

$$|s_n|=O(X_n),\ n\to\infty. \tag{1}$$

If (τ_n) is a sequence of complex numbers such that

$$\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{p_n}{P_n}\right)\left(|\tau_n|X_n\right)^k<\infty,$$

$$\sum_{n=1}^{\infty}X_n|\Delta\tau_n|<\infty, \tag{2}$$

then the series $\sum a_n\tau_n$ is summable $|\bar{N},p_n|_k$, $k\geq 1$.

3. MAIN RESULT

The goal of this paper is to obtain a more general theorem on the $\phi-|T,\beta;\delta|_k$ summability method. For further general results, the readers should refer to [5-10] on the subject of this paper. We begin by introducing the notation that will be used in stating the main result.

Two lower semimatrices $\overline{T}=(\bar{t}_{nu})$ and $\hat{T}=(\hat{t}_{nu})$ are defined as follows:

$$\bar{t}_{nu}=\sum_{i=u}^{n}t_{ni},\ n,u=0,1,...$$

$$\hat{t}_{00}=\bar{t}_{00}=t_{00},\ \hat{t}_{nu}=\bar{t}_{nu}-\bar{t}_{n-1,u},\ n=1,2,...$$

$$\bar{\Delta}T_n(s)=T_n(s)-T_{n-1}(s)=\sum_{u=0}^{n}\hat{t}_{nu}a_u.$$

Now, we shall prove the following theorem.

Theorem 3.1. Let $\phi_n p_n = O(P_n)$ and $T = (t_{nu})$ be a positive normal matrix such that

$$\bar{t}_{n0} = 1, \quad n = 0,1,...,$$

$$t_{n-1,u} \geq t_{nu} \text{ for } n \geq u+1,$$

$$t_{nn} = O\left(\frac{p_n}{P_n}\right), \tag{3}$$

$$\sum_{n=u+1}^{\infty} \phi_n^{\beta(\delta k+k-1)-k+1} \left|\Delta_u(\hat{t}_{nu})\right| = O\left(\phi_u^{\beta(\delta k+k-1)-k}\right) \tag{4}$$

$$\sum_{n=u+1}^{\infty} \phi_n^{\beta(\delta k+k-1)-k+1} \left|\hat{t}_{n,u+1}\right| = O\left(\phi_u^{\beta(\delta k+k-1)-k+1}\right) \tag{5}$$

If the conditions (1), (2) and

$$\sum_{u=1}^{\infty} \phi_u^{\beta(\delta k+k-1)-k} \left(\left|\tau_u\right| X_u\right)^k < \infty, \tag{6}$$

$$\sum_{u=1}^{\infty} \phi_u^{\beta(\delta k+k-1)-k+1} X_u \left|\Delta\tau_u\right| < \infty, \tag{7}$$

are satisfied, then the series $\sum a_n\tau_n$ is summable $\phi - \left|T, \beta; \delta\right|_k$, $k \geq 1$, $\delta \geq 0$ and $k - \beta(\delta k + k - 1) > 0$.

4. PROOF OF THEOREM 3.1

Let (L_n) denotes T -transform of the series $\sum a_n\tau_n$.

$$\bar{\Delta} L_n = \sum_{u=1}^{n} \hat{t}_{nu} a_u \tau_u$$

$$= \sum_{u=1}^{n-1} \Delta_u\left(\hat{t}_{nu}\tau_u\right) \sum_{z=1}^{u} a_z + \hat{t}_{nn}\tau_n \sum_{u=1}^{n} a_u .$$

Here, we obtain

$$\Delta_u\left(\hat{t}_{nu}\tau_u\right) = \hat{t}_{nu}\tau_u - \hat{t}_{n,u+1}\tau_{u+1} - \hat{t}_{n,u+1}\tau_u + \hat{t}_{n,u+1}\tau_u$$

$$= \Delta_u(\hat{t}_{nu})\tau_u + \hat{t}_{n,u+1}\Delta\tau_u$$

then

$$\bar{\Delta} L_n = t_{nn}\tau_n s_n + \sum_{u=1}^{n-1} \Delta_u(\hat{t}_{nu})\tau_u s_u + \sum_{u=1}^{n-1} \hat{t}_{n,u+1}\Delta\tau_u s_u$$

$$= L_{n,1} + L_{n,2} + L_{n,3} .$$

To prove Theorem 3.1, we will obtain $\sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)} \left| L_{n,l} \right|^k < \infty$ for $l = 1,2,3.$

Case I:

$$\sum_{n=1}^{r}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)}\left|L_{n,1}\right|^k = O(1)\sum_{n=1}^{r}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)}\left(\frac{p_n}{P_n}\right)^k |\tau_n|^k |s_n|^k$$
$$= O(1)\sum_{n=1}^{r}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)}\left(\frac{p_n}{P_n}\right)^k |\tau_n|^k X_n^k$$
$$= O(1)\sum_{n=1}^{r}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)-k}\left(|\tau_n| X_n\right)^k$$
$$= O(1), \quad r\to\infty$$

by (1), (3) and (6).

Case II:

$$\sum_{n=2}^{r+1}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)}\left|L_{n,2}\right|^k \le \sum_{n=2}^{r+1}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)}\left\{\sum_{u=1}^{n-1}|\Delta_u(\hat{t}_{nu})||\tau_u||s_u|\right\}^k$$
$$\le \sum_{n=2}^{r+1}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)}\sum_{u=1}^{n-1}\left|\Delta_u(\hat{t}_{nu})\right|\left|\tau_u\right|^k |s_u|^k\left\{\sum_{u=1}^{n-1}\left|\Delta_u(\hat{t}_{nu})\right|\right\}^{k-1}$$
$$= O(1)\sum_{n=2}^{r+1}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)-k+1}\left\{\sum_{u=1}^{n-1}\left|\Delta_u(\hat{t}_{nu})\right|\left|\tau_u\right|^k X_u^k\right\}$$
$$= O(1)\sum_{u=1}^{r}\left(\left|\tau_u\right| X_u\right)^k \sum_{n=u+1}^{r+1}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)-k+1}\left|\Delta_u(\hat{t}_{nu})\right|$$
$$= O(1)\sum_{u=1}^{r}\varphi_u^{\beta(\delta k+k-1)-k}\left(\left|\tau_u\right| X_u\right)^k$$
$$= O(1), \quad r\to\infty$$

by (1), (3), (4) and (6).

Case III:

$$\sum_{n=2}^{r+1}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)}\left|L_{n,3}\right|^k \le \sum_{n=2}^{r+1}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)}\left\{\sum_{u=1}^{n-1}\left|\hat{t}_{n,u+1}\right||\Delta\tau_u||s_u|\right\}^k$$
$$\le \sum_{n=2}^{r+1}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)}\left\{\sum_{u=1}^{n-1}\left|\hat{t}_{n,u+1}\right||\Delta\tau_u| X_u\right\}^k$$
$$\le \sum_{n=2}^{r+1}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)}\sum_{u=1}^{n-1}\left|\hat{t}_{n,u+1}\right|^{k-1}\left|\hat{t}_{n,u+1}\right|\left|\Delta\tau_u\right| X_u\left\{\sum_{u=1}^{n-1}|\Delta\tau_u| X_u\right\}^{k-1}$$
$$= O(1)\sum_{u=1}^{r} X_u\left|\Delta\tau_u\right|\sum_{n=u+1}^{r+1}\varphi_n^{\beta(\delta k+k-1)-k+1}\left|\hat{t}_{n,u+1}\right|$$
$$= O(1)\sum_{u=1}^{r}\phi_u^{\beta(\delta k+k-1)-k+1} X_u\left|\Delta\tau_u\right|$$
$$= O(1), \quad r\to\infty$$

by (1), (2), (3), (5) and (7). This completes the proof of Theorem 3.1.

5.CONCLUSION

In this paper, a known summability factor theorem has been further generalized to the framework of absolute matrix summability. Some suitable conditions for the summability of the factored series have been obtained. The result extends the corresponding Riesz-type theorem and provides a useful generalization for absolute matrix summability methods.

REFERENCES

[1] Hardy, G.H. (1949). Divergent Series. Oxford: Oxford University Press.

[2] Özarslan, H. S. and Kartal, B. (2018). On the general method of summability, J. Math. Anal., 9 (4), 36-43.

[3] Bor, H. (1985). On two summability methods, Math. Proc. Cambridge Philos Soc., 97 (1), 147-149.

[4] Bor, H. (1991). Factors for $|\bar{N}, p_n|_k$ summability of infinite series. Ann. Acad. Sci. Fenn. Ser. A I Math. 16 (1), 151-154.

[5] Karakaş, A. (2018). On absolute matrix summability factors of infinite series, J. Class. Anal., 13 (2), 133-139.

[6] Kartal, B. (2019). On an extension of absolute summability, Konuralp J. Math., **7** (2), 433-437.

[7] Özarslan, H. S. and Kartal, B. (2020). Absolute matrix summability via almost increasing sequence, Quaest. Math., 43 (10), 1477-1485.

[8] Kartal, B. (2021). Factors for generalized matrix summability, Erc. Unv. J. Inst. Sci and Tech., 37 (3), 462-467.

[9] Özarslan, H. S. (2023). A new theorem on generalized absolute matrix summability, Azerb. J. Math., 13 (1), 3–13.

[10] Özarslan, H. S. and Erdoğan, B. K. (2025). Generalized Absolute Matrix Summability Factors, Publ. Inst. Math. (Beograd) (N.S.), 117 (131), 77-82.

ABEL–CESÀRO CONVERGENCE FOR INTERVAL-VALUED SEQUENCES

Assoc. Prof. Dr. Bağdagül KARTAL ERDOĞAN
Erciyes University,
bagdagulkartal@erciyes.edu.tr - 0000-0001-6223-0838

Nuray ÖZEN
Erciyes University,
nuray.ozen3838@gmail.com - 0009-0004-6926-5434

ABSTRACT

Abel and Cesàro summability methods are among the classical methods of summability theory and have been extensively studied for sequences and series. In this study, the relations between Abel and Cesàro convergence are considered in the interval-valued setting. The classical definitions of Abel and Cesàro convergence are first recalled, and then their interval-valued counterparts are considered with respect to the Hausdorff metric. A known Abel–Cesàro inclusion result for interval-valued sequences is revisited, and its proof is presented by considering the lower and upper endpoint sequences. In addition, a new example is provided to illustrate the result. Thus, the presentation aims to give a concise treatment of the known inclusion result together with a new illustrative example in the interval-valued setting.

Keywords: Interval-valued sequences; Abel convergence; Cesàro convergence; Hausdorff metric

DRONE GÖRÜNTÜLERİNDEN DIŞ CEPHE YÜZEY KUSURLARININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK YOLO TABANLI BİR TESPİT SİSTEMİ[1]

Lisans Öğrencisi Öykü AVKIRAN
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
oykuavkrn@gmail.com - 0009-0001-4001-5907

Lisans Öğrencisi Merve SARIOĞLU
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
sarioglumerve01@gmail.com - 0009-0005-5377-2519

Lisans Öğrencisi Sinem ÖZALP
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
siinemozalp1@gmail.com - 0009-0000-4554-2135

Doç. Dr. Zeynep HASIRCI TUĞCU
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
zhasirci@ktu.edu.tr - 0000-0002-3950-4156

ÖZET

Bu çalışmada, yüksek binaların dış cephelerinde deprem veya çevresel etkenlerle oluşan çatlak ve boya dökülmesi gibi hasarların tespitini daha güvenli, hızlı ve ekonomik hale getirecek drone tabanlı bir sistem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geleneksel iskele ve vinç yöntemlerinin taşıdığı iş güvenliği riskleri ve yüksek maliyetler, tasarlanan bu teknolojik çözümle aşılmaya çalışılmıştır. Açık kaynaklardan alınan görüntüler, çeşitli görüntü ön işleme adımlarından geçirilerek hasar tespiti için YOLOv8n-seg mimarisi ile analiz edilmiştir. Modelin eğitimi, sentetik veri artırımı yöntemleriyle zenginleştirilmiş yaklaşık 4000 görüntüden oluşan kapsamlı bir veri havuzu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre, yapının güvenliğini doğrudan tehdit eden yapısal çatlak tespitinde mAP50 değeri %91,5 ve kesinlik oranı %90,9 olarak kaydedilmiş; semantik segmentasyon doğruluğunu ifade eden mIoU skoru ise %70,6 olarak ölçülmüştür. Geliştirilen karar destek mekanizması, tespit edilen yüzey anormalliklerini otomatik olarak sınıflandırıp raporlayarak insan kaynaklı hataları en aza indirmektedir. Bu çalışma, yapı denetim firmaları ve ilgili kurumlar için sahada uygulanabilir potansiyele sahip, pratik ve proaktif bir çözüm sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Drone, YOLOv8, Derin Öğrenme, Dış Cephe Hasar Tespiti, Görüntü İşleme, Yapı Denetimi

[1] Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi (Proje Kod: FLÖ-2026-17629) ve TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Bu çalışma, yüksek katlı yapıların dış cephelerinde zamanla çevresel etkiler veya yapısal zorlanmalar nedeniyle oluşan çatlak ve sıva dökülmesi gibi deformasyonların daha güvenli ve pratik bir şekilde saptanması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Günümüzde bina dış cephe kontrolleri genellikle insan gücüne dayalı olarak iskele veya vinç sistemleri yardımıyla yapılmaktadır. Oldukça maliyetli ve tehlikeli olan bu geleneksel yöntemlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak amacıyla bu projede drone ve yapay zeka tabanlı görüntü analiz yöntemlerini birleştiren modern bir sistemin tasarımı ele alınmıştır.

Bina dış cephelerinde zamanla çatlak, sıva dökülmesi ve benzeri yüzey kusurları oluşabilmektedir. Özellikle yüksek yapılarda bu bölgelerin doğrudan incelenmesi iskele, vinç veya insan müdahalesi gerektirdiğinden hem maliyetli hem de riskli olabilmektedir. Bu çalışmada, dış cephe görüntülerindeki kusurların drone ve yapay zekâ tabanlı görüntü analizi kullanılarak belirlenmesi ele alınmıştır. Çatlak ve sıva dökülmesi sınıflarının tespiti için YOLO tabanlı bir model kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen sistemin, dış cephe kusur tespiti süreçlerine pratik ve güvenilir bir yenilik getirmesi öngörülmektedir:

- Çatlak, dökülme ve yüzey bozulmaları gibi hasar türleri kısa sürede tespit edilebilmesi,
- Dış cephelerin düzenli ve hızlı şekilde kontrol edilebilmesi,
- Görüntülerin aynı değerlendirme ölçütleriyle incelenmesi,
- Yapı bakım ve onarımın daha pratik yapılmasına olanak sağlanması.
- Uygulanabilir ve düşük maliyetli yapısıyla farklı yapı türlerinde kullanılabilecek bir çözüm sağlayabilmesi.

Drone ve yapay zeka teknolojileri bugün haritalama, tarım, güvenlik, savunma ve afet sonrası hasar tespiti gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Köprü ve yol denetimi, enerji nakil hatlarının kontrolü ve güneş paneli arızalarının tespiti gibi işler de drone ile çok daha kısa sürede yapılabilmektedir. Yapay zeka ise bu görüntüleri inceleyerek gözle fark edilmesi zor küçük kusurları ayırt edebilmektedir. Bu iki teknolojinin birlikte kullanılması, bina dış cephelerinin kontrolü için de güvenli ve pratik bir çözüm sunmaktadır.

1.2. Literatür Araştırması

Bina dış cephelerinde oluşan çatlak, sıva ve boya dökülmesi gibi kusurların özellikle yüksek yapılarda doğrudan incelenmesi güç olabilmektedir. Bu nedenle son yıllarda drone destekli görüntüleme ve görüntü işleme yöntemlerinin yapı denetiminde kullanımına yönelik çalışmalar artmıştır. Drone kullanmak, yüksek binalarda ya da ulaşılması zor yerlerde incelemeyi kolaylaştığı için literatürde önemli bir yer edinmiştir.

[1]' de İHA ve görüntü işleme yöntemlerini birlikte kullanarak altyapı yüzeylerinin uzaktan incelenebileceği bir sistem önermiştir. Çalışmada drone üzerinden alınan görüntülerde çatlak benzeri yüzey kusurlarının belirlenmesi ele alınmış ve sistemin farklı test senaryolarındaki uygulanabilirliği incelenmiştir. [2]' de bina kusurlarının görüntüler üzerinden otomatik olarak belirlenmesi amacıyla CNN tabanlı bir yaklaşım kullanmıştır. Çalışmada VGG-16 temelli bir sınıflandırıcı ile sınıf aktivasyon haritaları kullanılarak kusurlu bölgelerin belirlenmesi amaçlanmış; küf, leke ve yüzey bozulması gibi farklı kusur türleri değerlendirilmiştir. [3]' te bina yüzeylerindeki çatlakların derin öğrenme yöntemleriyle tespit edilmesini incelemiştir. Çalışmada farklı yüzey koşullarındaki çatlakların görüntüler üzerinden belirlenmesi ele alınmış ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımın yüzey çatlaklarının tespitindeki başarımı değerlendirilmiştir. Yüksek binalar için derin öğrenme kullanarak beton hasar tespiti yapılan bir çalışmada ise betonun sürekli yükleme ve çevresel etkiler nedeniyle dayanıklılığını kaybetmesi üzerine çalışılmıştır [4]. Sonuç olarak, yapının dış yüzeyinde hasar meydana gelebildiği ve bu deformiteler araştırılmadığında, onarılmadığında, yapının bütünlüğü tehlikeye girebildiğinden bahsedilmiştir. Bu sorunları çözmek için, bu makale kenar hesaplama ilkesini kullanarak yüksek katlı sivil yapılar için gelişmiş derin öğrenme modellerinden biri olan YOLO-v3 ile gerçek zamanlı çoklu drone hasar tespit sistemi önermektedir.

1.3. Özgünlük

Yüksek binaların dış cephelerinde zamanla ya da deprem sonrasında oluşan hasarların drone görüntüleri üzerinden tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu tür binalarda cephe kontrolü bugün hâlâ büyük ölçüde iskele, vinç ve insan gücüyle yapılmaktadır. Bu yöntem hem tehlikeli hem de uzun süren bir iştir. Bu duruma çözüm sağlamak için drone ile alınan görüntüler YOLO tabanlı bir derin öğrenme modeliyle incelenmiştir. Çalışmanın özgün yanlarından biri, çatlak ve sıva dökülmesi gibi farklı hasar türlerinin tek bir model ile aynı anda tespit edilebilmesidir. Bunun yanında hazır bir veri seti doğrudan kullanılmamış, açık kaynaklardan toplanan görüntüler elle seçilmiş ve hasarlı bölgeler tek tek etiketlenerek projeye uygun bir veri seti hazırlanmıştır. Ayrıca modelin ileride drone üzerindeki Raspberry Pi 5 gibi düşük güçlü bir kartta çalışabilmesi için YOLO ailesinin en hafif sürümü olan YOLOv8n-seg tercih edilmiştir. Bu yönleriyle çalışma, yapay zekâ ile yapı denetimini bir araya getiren uygulamaya dönük bir çözüm ortaya koymaktadır.

1.4. Yöntem

Çalışmanın ilk aşamasında, bina dış cephelerinin mevcut yöntemlerle nasıl incelendiği ve bu yöntemlerin sınırlılıkları değerlendirilmiştir. Özellikle yüksek yapılarda iskele ve vinç kullanımının maliyetli ve riskli olması nedeniyle, cephe görüntülerinin drone ile alınması ve bilgisayar ortamında analiz edilmesi yaklaşımı benimsenmiştir.

Daha sonra drone ile görüntüleme, görüntü işleme ve yapay zekâ tabanlı hasar tespiti üzerine yapılan çalışmalar incelenmiş ve kullanılabilecek yöntemler karşılaştırılmıştır. Bu incelemeler doğrultusunda drone üzerinde kullanılacak kamera, uçuş kontrol kartı, Raspberry Pi 5 ve diğer temel donanım bileşenleri belirlenmiştir. Cephe görüntülerindeki çatlak ve sıva dökülmesi bölgelerinin tespiti için YOLO tabanlı bir segmentasyon modeli tercih edilmiştir.

Drone'un bina cephesi önündeki uçuş davranışı Gazebo ve PX4 ortamında simüle edilmiştir. Model eğitimi için ise açık kaynaklardan elde edilen ve Roboflow üzerinde etiketlenen görüntüler kullanılmıştır. Veri artırma işlemlerinin ardından YOLOv8n-seg modeli eğitilmiş, farklı eğitim ayarları karşılaştırılmış ve en uygun model ağırlıkları seçilmiştir. Son aşamada model, eğitim sırasında kullanılmayan test görüntüleri üzerinde değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar başlangıçta belirlenen hedeflerle karşılaştırılmıştır.

2. TEORİK ALTYAPI

2.1. Genel Bilgiler

Bina dış cephelerinde zamanla çatlak, boya kabarması, yüzey aşınması ve kaplama bozulması gibi kusurlar oluşabilmekte ve bu bozulmaların erken dönemde fark edilmesi, bakım ve onarım planlamasının daha düzenli yapılmasına yardımcı olmaktadır. Özellikle yüksek yapılarda cephe yüzeylerinin tamamına doğrudan erişmek kolay olmadığından görüntü tabanlı inceleme ve analiz yöntemleri pratik bir alternatif oluşturmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan bina cephe görüntüleri, gürültü azaltma, kontrast iyileştirme ve kenar belirleme gibi ön işleme adımları açısından değerlendirilmiş, daha sonra hasar tespit modeline uygun hale getirilmiştir. Modelin amacı, görüntüde hasar bulunup bulunmadığını belirlemenin yanında hasarın görüntü üzerindeki yerini ve türünü de ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla farklı bina hasar örnekleriyle eğitilen YOLO tabanlı bir segmentasyon modeli kullanılmıştır. Drone kullanımı, yüksek katlı binalarda veya doğrudan ulaşılması zor cephe bölgelerinde görüntü almayı kolaylaştıran bir çözümdür.

Sistem dört ana bölümden oluşmaktadır: drone platformu, kamera, görüntü işleme birimi ve hasar tespit modeli. Görüntüler gerekli ön işlemlerden geçirildikten sonra modele aktarılmakta ve tespit edilen kusurlar sınıflandırılmaktadır. Çalışmada bu yapı, dış cephe görüntülerinin daha düzenli ve hızlı biçimde incelenmesine yönelik bir temel sistem olarak ele alınmıştır.

2.2. Kamera Hızı (FPS) ve Hareket Bulanıklığı (Motion Blur)

Drone hareket ederken çekilen görüntülerde, kamera pozlama yaparken platformun da hareket etmeye devam etmesi nedeniyle hareket bulanıklığı oluşabilir. Hareket miktarı arttığında görüntüdeki ince kenarlar netliğini kaybeder ve özellikle çatlak gibi dar ve uzun kusurların belirlenmesi zorlaşabilir. Bu çalışmada bulanıklığı sonradan düzeltmek yerine, çekim sırasında mümkün olduğunca sınırlamak tercih edilmiş olup pozlama süresi boyunca oluşan görüntü kaymasının yaklaşık bir piksele karşılık gelen GSD değerini aşmaması ölçüt olarak kullanılmıştır. Bu nedenle drone hızı, kameranın cepheye olan uzaklığı ve pozlama süresi birlikte değerlendirilmiştir. Simülasyonda kullanılanuçuş hızları bu ölçüte göre seçilmiştir. Gerçek uygulamada da benzer şekilde, drone hızlandıkça daha kısa pozlama süresi kullanılması daha düşük hızlarda ise daha uzun pozlama süreleri tercih edilebilir. Bu nedenle uçuş hızı ile kamera ayarlarının birbiriyle uyumlu seçilmesi çalışmanın çıktı başarımı açısından önemlidir

2.3. Görüntü İşleme Altyapısı

Hasar tespitinden önce görüntüler gürültü azaltma, kontrast düzenleme, kenar çıkarımı, yeniden boyutlandırma ve normalizasyon gibi ön işleme adımlarından geçirilmiştir. Buradaki amaç, farklı çekim koşullarından kaynaklanan değişimleri azaltmak ve model girişlerini daha tutarlı hale getirmektir. Görüntülerdeki küçük yoğunluk değişimlerini ve özellikle yüksek frekanslı gürültüyü azaltmak için Gauss filtresi kullanılmıştır. Bu yöntemde her piksel, çevresindeki piksellerin ağırlıklı katkısıyla yeniden hesaplanmaktadır. Merkeze yakın pikseller daha yüksek ağırlık alırken uzak piksellerin etkisi azalır. Filtrenin davranışını belirleyen temel parametrelerden biri standart sapma değeridir. Bu değerin fazla artırılması, çatlak gibi ince yapıların da yumuşamasına neden olabilir [5].

Dış cephe görüntülerinde aydınlatma her bölgede aynı olmadığından güneş, gölge ve cephe geometrisi nedeniyle aynı görüntü içinde belirgin parlaklık farkları oluşabilmektedir. Bu nedenle kontrast düzenleme aşamasında klasik histogram eşitleme yerine CLAHE yöntemi tercih edilmiştir. CLAHE yönteminde, görüntü daha küçük bölgelere ayırılarak yerel kontrast düzenlenmekte ve özellikle gölgede kalan kusurların daha görünür hale gelmesine yardımcı olunmaktadır. Kontrast artışını sınırlandırması ile de gürültünün gereğinden fazla belirginleşmesi önlenmiş olur.

Kenar bilgisinin çıkarılmasında görüntü gradyanlarını hesaplayarak belirgin kenarları ayıran ve çatlakların doğrultusu hakkında ek bilgi sağlayan Canny algoritması kullanılmıştır [6]. Çatlaklar çoğunlukla ince ve uzamış yapılar gösterdiği için piksel yoğunluğundaki ani değişimler bu bölgelerin belirlenmesinde yararlı olabilmektedir. Model girişlerinin aynı boyutta olması için görüntüler 640×640 piksele dönüştürülmüş ve yeniden boyutlandırma sırasında görüntü oranının mümkün olduğunca korunmasına dikkat edilmiştir. Böylece çatlak ve diğer hasarların geometrik yapısındaki bozulmanın azaltılması hedeflenmiştir. Boyutlandırmadan sonra piksel değerleri 0–255 aralığından [0,1] aralığına ölçeklendirilmiş ve modele verilen girişlerin benzer sayısal aralıkta tutulmasını sağlanmıştır.

Bu ön işlemlerle, farklı ışık ve görüntüleme koşullarından gelen verilerin modele daha tutarlı biçimde aktarılması amaçlanmış olup, aynı zamanda çatlak ve yüzey bozulmalarına ait biçim, kenar ve doku özelliklerinin mümkün olduğunca korunmasına dikkat edilmiştir.

2.4. YOLO (You Only Look Once)

YOLO, görüntü üzerindeki nesnelerin yerini ve hangi sınıfa ait olduklarını tek bir model üzerinden tahmin eden derin öğrenme tabanlı bir yaklaşımdır. İki aşamalı yöntemlerde önce olası nesne bölgeleri belirlenip daha sonra bu bölgeler sınıflandırılırken, YOLO bu işlemleri tek aşamada gerçekleştirir. Bu yapı, özellikle işlem süresinin önemli olduğu uygulamalarda YOLO'nun tercih edilmesinin başlıca nedenlerinden biridir.

Model, görüntüden çıkardığı özellikleri kullanarak olası hasar bölgelerini belirler ve her tespit için sınıf bilgisi ile birlikte bir güven değeri üretir. Bu çalışmada kullanılan YOLOv8n-seg modeli, tespit edilen bölgeleri yalnızca sınırlayıcı kutu ile göstermemekte, aynı zamanda piksel

düzeyinde maske de oluşturmaktadır. Bu özellik, çatlak ve sıva dökülmesi gibi düzensiz şekle sahip kusurların sınırlarının daha ayrıntılı biçimde belirlenmesini sağlamaktadır.

Çalışmada YOLO tabanlı segmentasyon modeli, bina cephe görüntülerindeki çatlak ve sıva dökülmesi bölgelerini belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Model çıktısında tespit edilen kusurlar görüntü üzerinde işaretlenmiş ve her tespit için hesaplanan güven değeri kullanıcıya gösterilmiştir.

2.5. Eğitim Verisi ve Veri Arttırma (Data Augmentation)

Aynı hasar türü, kamera açısı, yüzeye olan uzaklık ve aydınlatma koşullarına bağlı olarak görüntüde farklı biçimlerde görülebilir. Bu nedenle eğitim verisinin yalnızca benzer çekim koşullarından oluşmaması önemlidir. Çalışmada mevcut görüntülere döndürme, ölçekleme ve parlaklık değiştirme gibi veri arttırma işlemleri uygulanmış, böylece eğitim sırasında modelin daha farklı örneklerle karşılaşması sağlanmıştır.

Model eğitim sırasında etiketlenmiş hasar bölgelerindeki biçim, doku ve kenar özelliklerini öğrenmektedir. Çatlaklar çoğunlukla ince ve uzamış yapılar gösterirken, sıva dökülmeleri daha geniş ve düzensiz bölgeler şeklinde görülebilmektedir. Eğitim tamamlandıktan sonra modele verilen yeni bir görüntüde olası hasar bölgeleri belirlenmekte ve her tespit için sınıf bilgisi ile birlikte bir güven değeri hesaplanmaktadır. Belirlenen eşik değerinin üzerinde kalan tespitler sonuç olarak gösterilmektedir.

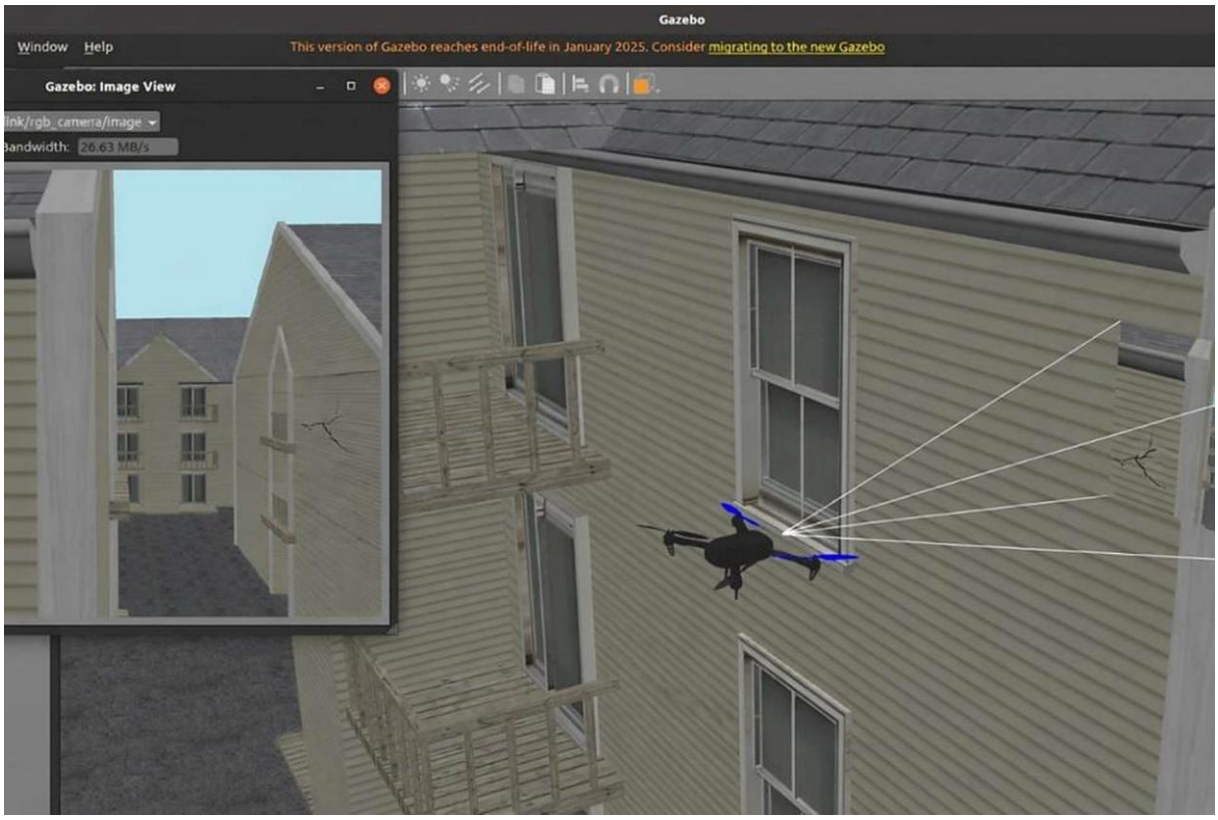
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde drone sistemine ait uçuş simülasyonları ile hasar tespit modelinin geliştirme süreci açıklanmaktadır. Model seçiminde yalnızca tespit başarımı değil, ileride Raspberry Pi 5 üzerinde çalıştırılabilecek kadar hafif bir yapıya sahip olması da dikkate alınmıştır. Bu nedenle eğitim sürecinde farklı ayarlar denenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3.1. Simülasyon Ortamı ve Uçuş Senaryoları

Drone sisteminin fiziksel kurulumuna geçilmeden önce uçuş davranışı Gazebo ortamında test edilmiştir. Uçuş kontrolü için PX4 yazılımının Software-In-The-Loop (SITL) altyapısı kullanılmış, böylece kontrol algoritmaları gerçek donanım olmadan sanal ortamda çalıştırılmıştır. QGroundControl üzerinden drone'un konum, hız, roll, pitch ve yaw bilgileri izlenmiş ve kayıt altına alınmıştır.

Simülasyonda quadcopter modelinin ön kısmına bir kamera yerleştirilmiş ve bina cephesine ait görüntüler bu kamera üzerinden alınmıştır. Cepheye olan uzaklığın takip edilmesi için mesafe ölçümünden yararlanılmıştır. Uçuş sırasında drone önce belirlenen yüksekliğe çıkarılmış, daha sonra bina yüzeyi boyunca yatay ve dikey yönde hareket ettirilmiştir. Belirli noktalarda hover konumunda tutularak yönelim kararlılığı gözlenmiştir. Bu senaryoya ait bir örnek Görsel 1'de verilmiştir.



Görsel 1. Platformun bina dış cephesi önünde sergilediği sabit uçuş manevrası ve eşzamanlı kamera görüşü

3.2. Veri Setinin Hazırlanması ve Etiketleme

Model eğitiminde kullanılacak görüntüler açık kaynaklardan toplanmış olup farklı cephe koşullarını temsil edebilmek için ise beton, sıvalı, boyalı ve yıpranmış yüzeylere ait görüntüler veri kümesine dahil edilmiştir. Toplanan görüntüler tek tek kontrol edilmiş; hasarın yeterince seçilemediği, belirgin biçimde bulanık olan veya bina cephesiyle ilişkili olmayan örnekler ayıklanmıştır. Etiketleme işlemi Roboflow üzerinden ve manuel olarak yapılmıştır. Çatlaklar çoğunlukla ince ve düzensiz bir yapıya sahip olduğu için yalnızca sınırlayıcı kutu kullanılmayıp, bunun yanısıra hasarlı bölgeler çokgen maskelerle işaretlenmiştir. Böylece, özellikle çatlak ve sıva dökülmesi gibi düzensiz şekilli kusurların sınırlarının daha ayrıntılı biçimde tanımlanması sağlanmıştır. Elde edilen maskeler daha sonra hasarın kapladığı alan veya yönelimi gibi ek özelliklerin incelenmesinde de kullanılabilir.

Veri kümesinde iki sınıf bulunmaktadır: çatlak (crack) ve sıva dökülmesi (peeling plaster). Etiketleme sonunda çatlak sınıfında 1928, sıva dökülmesi sınıfında ise 243 örnek elde edilmiştir. İki sınıf arasındaki bu fark, özellikle sıva dökülmesi sınıfındaki daha düşük başarımın yorumlanmasında dikkate alınmıştır. Veri kümesi eğitim, doğrulama ve test alt kümelerine ayrılmıştır. Test için ayrılan 400 görüntü eğitim sürecinde kullanılmamış ve yalnızca modelin son performansını değerlendirmek amacıyla saklanmıştır. Sınıf dengesizliğinin sonuçlara etkisi Bölüm 4.1'de, Çizelge 2 üzerinden ayrıca değerlendirilmiştir.

3.3. Veri Arttırma (Data Augmentation) İşlemleri

Eğitim verisinin sınırlı sayıda ve benzer koşullardan oluşması, modelin yeni görüntülere uyumunu olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle yalnızca eğitim kümesine veri arttırma işlemleri uygulanmıştır. Amaç, mevcut görüntülerden farklı varyasyonlar üretmek ve modelin farklı çekim koşullarını görmesini sağlamaktır.

Drone ile görüntüleme sırasında oluşabilecek açı, ışık ve görüntü kalitesi değişimleri dikkate alınarak yatay çevirme, sınırlı açıda döndürme, parlaklık değiştirme ve hafif bulanıklaştırma işlemleri kullanılmıştır. Tüm işlemler Roboflow üzerinden gerçekleştirilmiş ve veri arttırma sonrasında eğitim için kullanılabilir görüntü sayısı yaklaşık 4000'e ulaşmıştır. Uygulanan dönüşümler ile kullanılan parametreler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Veri arttırımı (data augmentation) işlemleri ve uygulama amaçları

Uygulanan İşlem	Parametre / Değer	Uygulama Amacı
Yatay Döndürme (Horizontal Flip)	%50 olasılıkla	Çatlak ve dökülme yönlerinin modele her iki simetride de öğretilmesi
Döndürme (Rotation)	−15° ile +15° arası	Rüzgâr veya manevra kaynaklı kamera açı değişimlerinin (roll/pitch) simüle edilmesi
Parlaklık Değişimi (Brightness)	−%15 ile +%15 arası	Güneş yansımaları, bulutlu hava ve gölge gibi ışık farklılıklarının tolere edilmesi
Bulanıklaştırma (Blur)	En fazla 2,5 px	Uçuş sırasındaki titreşimlerden kaynaklanabilecek hareket bulanıklığının modele tanıtılması

3.4. Model Seçimi ve Eğitim Ortamı

Model seçilirken tespit başarımının yanında, sistemin ileride çalıştırılması planlanan donanım da göz önünde bulundurulmuştur. Raspberry Pi 5'in işlem gücü ve bellek kapasitesi sınırlı olduğundan, daha hafif bir model tercih edilmiştir. Bu nedenle YOLOv8 ailesindeki YOLOv8n-seg modeli kullanılmıştır.

YOLOv8n-seg'in tercih edilmesinde iki özellik etkili olmuştur. Birincisi, Nano sürümünün diğer YOLOv8 modellerine göre daha düşük hesaplama yüküne sahip olmasıdır. İkincisi ise yalnızca nesnenin konumunu değil, hasarlı bölgenin piksel düzeyindeki sınırlarını da maske olarak verebilmesidir. Bu özellik, özellikle çatlak ve sıva dökülmesi gibi düzensiz şekilli kusurların incelenmesi açısından çalışmanın amacına uygundur. Model eğitimi Google Colab ortamında NVIDIA T4 GPU kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğitim sırasında üç farklı hiperparametre ayarı denenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonunda en iyi doğrulama sonucunu veren yapılandırma seçilmiştir. Eğitimde giriş görüntü boyutu 640×640 piksel olarak belirlenmiştir. Epoch sayısı 50 olarak ayarlanmış ve eğitim süreci boyunca doğrulama sonuçları takip edilmiştir. Kullanılan optimizasyon algoritması ile öğrenme oranı, batch size ve diğer temel eğitim parametreleri seçilen yapılandırmaya göre belirlenmiştir.

3.5. Hasar Tespit Yazılımı

Eğitilen modelin daha kolay kullanılabilmesi için Python tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Kullanıcı bir görüntü yüklediğinde analiz işlemi otomatik olarak başlamakta ve model görüntüdeki çatlak ile sıva dökülmesi bölgelerini tespit etmektedir. Belirlenen bölgeler görüntü üzerinde işaretlenmekte ve her tespit için güven değeri gösterilmektedir. Görüntüde herhangi bir hasar tespit edilmediğinde uygulama bu durumu kullanıcıya bildirmektedir. Böylece farklı görüntüler aynı model ve aynı karar ölçütleriyle değerlendirilebilmekte, sonuçların kişisel yoruma bağlılığı azaltılmaktadır.

4. SONUÇLAR

Geliştirilen YOLO tabanlı model, hazırlanan test görüntüleri üzerinde değerlendirilmiştir. Sonuçlar, modelin özellikle çatlak sınıfında daha başarılı olduğunu göstermiştir. Sıva dökülmesi sınıfında ise daha düşük değerler elde edilmiş ve bu durum veri kümesindeki sınıf dengesizliğiyle birlikte değerlendirilmiştir.

Model çıktılarının kullanıcı tarafından incelenebilmesi için geliştirilen Python uygulamasında, tespit edilen kusurlar görüntü üzerinde işaretlenmiş ve her tespit için güven değeri gösterilmiştir. Böylece modelin hem sayısal performansı hem de görüntü üzerindeki davranışı birlikte değerlendirilmiştir.

4.1. Test Sonuçları

Modelin performansını değerlendirmek için eğitim sırasında kullanılmayan 400 test görüntüsü ayrılmıştır. Bu görüntülerde toplam 205 hasar örneği bulunmaktadır. Bazı görüntülerde birden fazla çatlak yer aldığı için çatlak örneği sayısı 182, çatlak içeren görüntü sayısı ise 166'dır. Test sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. YOLOv8 Modelinin Test Sonuçları

Hasar Sınıfı	Görüntü Sayısı	Örnek Sayısı	Kesinlik (Precision)	Duyarlılık (Recall)	mAP50	mAP50-95
Genel	400	205	0,771	0,608	0,646	0,537
Yapısal Çatlak	166	182	0,909	0,868	0,915	0,797
Sıva Dökülmesi	23	23	0,633	0,348	0,377	0,277

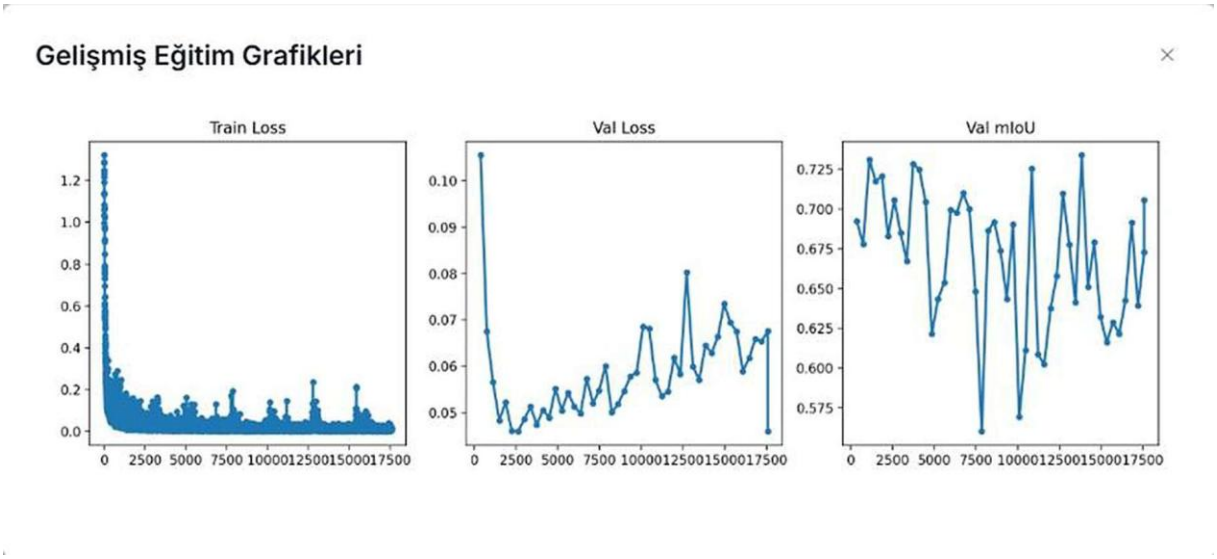
Çizelge 2 incelendiğinde en yüksek performansın çatlak sınıfında elde edildiği görülmektedir. Bu sınıfta mAP50 değeri 0,915, kesinlik değeri 0,909 ve duyarlılık değeri 0,868 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen değerler, modelin çatlak sınıfında büyük ölçüde doğru tespit yaptığını ve yanlış pozitiflerin sınırlı kaldığını göstermektedir. Bununla birlikte duyarlılık değerinin 1'in altında olması, bazı çatlak örneklerinin model tarafından tespit edilemediğini göstermektedir.

Sıva dökülmesi sınıfında ise daha düşük değerler elde edilmiştir. Bu sınıfta mAP50 değeri 0,377, duyarlılık değeri ise 0,348 olarak bulunmuştur. Veri kümesinde 1928 çatlak örneğine karşılık 243 sıva dökülmesi örneğinin bulunması, iki sınıf arasındaki performans farkını etkileyen etkenlerden biri olabilir. Test kümesinde sıva dökülmesine ait yalnızca 23 örnek bulunması da bu sınıfa ilişkin sonucun daha sınırlı veri üzerinden hesaplandığını göstermektedir. Bu nedenle sıva dökülmesi sınıfındaki performansın daha geniş ve dengeli bir veri kümesiyle yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.

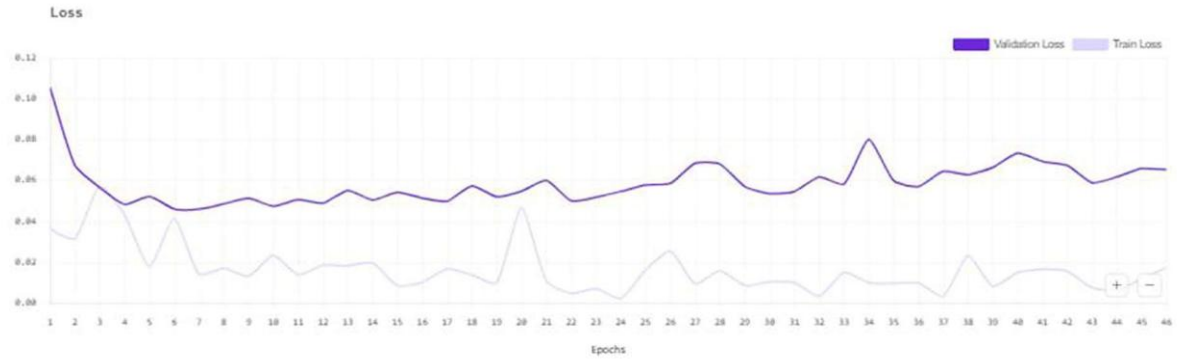
Eğitim verisindeki sınıf dağılımı incelendiğinde çatlak ve sıva dökülmesi örnekleri arasında belirgin bir sayı farkı olduğu görülmektedir. Etiketlerin görüntü üzerindeki konumları farklı bölgelere yayılmış olsa da merkez çevresinde belirli bir yoğunlaşma vardır. Boyut dağılımı ise veri kümesinde hem ince ve uzun çatlakların hem de daha geniş yüzey bozulmalarının bulunduğunu göstermektedir.

4.2. Eğitim Süreci ve Kayıp (Loss) Analizi

Eğitim sürecinde modelin davranışı loss değerleri üzerinden izlenmiştir. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3 incelendiğinde eğitim kaybının ilk epoch'larda hızlı biçimde azaldığı, daha sonraki aşamalarda ise daha düşük bir seviyede devam ettiği görülmektedir. Bu durum, modelin eğitim verisindeki örüntüleri zamanla öğrenmeye başladığını göstermektedir.



Görsel 2. Eğitim süresince kayıp (loss) değerlerinin düşüşü ve doğrulama başarımı (mIoU)



Görsel 3. Epok bazlı train loss ve validation loss eğrileri

Doğrulama kaybı da eğitimin ilk bölümünde azalmış, ancak belirli bir noktadan sonra yeniden küçük artışlar göstermiştir. Eğitim kaybı düşmeye devam ederken doğrulama kaybının artması, modelin eğitim verisine fazla uyum sağlamaya başladığını düşündürmektedir. Bu nedenle değerlendirmede, doğrulama sonucunun en iyi olduğu epoch'a ait model ağırlıkları kullanılmıştır.

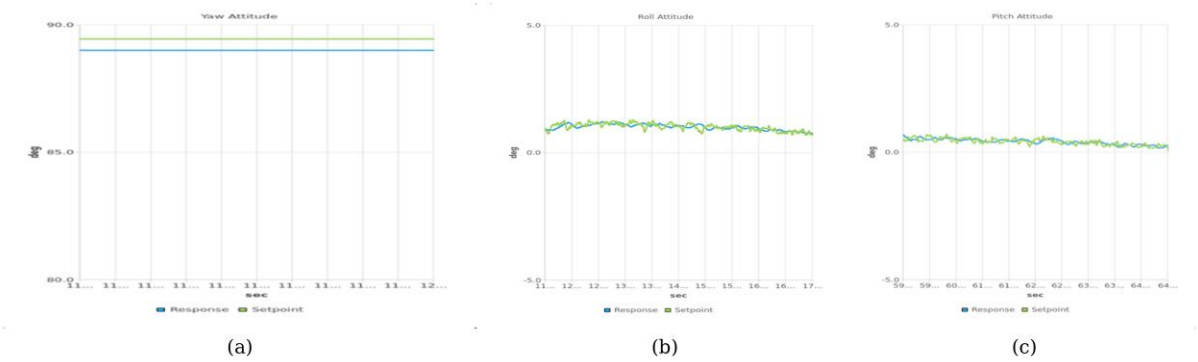
Segmentasyon başarımını gösteren doğrulama mIoU değeri eğitim boyunca değişken bir seyir izlemiş ve en yüksek 0,725 (%72,5) seviyesine ulaşmıştır. Bu sonuç, modelin hasarlı bölgelerin sınırlarını büyük ölçüde doğru biçimde belirleyebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte mIoU değerindeki dalgalanmalar, eğitim sürecinin daha kararlı hâle getirilebileceğine işaret etmektedir. Özellikle sıva dökülmesi sınıfındaki örnek sayısının artırılması, sınıf dengesizliğinin azaltılması ve uygun erken durdurma yöntemlerinin kullanılması, ilerleyen çalışmalarda değerlendirilebilecek iyileştirmeler arasındadır.

4.3. Modelin Hassasiyet, Duyarlılık İlişkisi ve mIoU Analizi

Modelin başarımı değerlendirilirken yalnızca hasarları bulabilmesi değil, sağlam bölgeleri yanlış biçimde hasar olarak işaretlememesi de dikkate alınmıştır. Kesinlik (precision), modelin hasar olarak belirlediği bölgelerin ne kadarının gerçekten hasarlı olduğunu; duyarlılık (recall) ise mevcut hasarların ne kadarının tespit edilebildiğini göstermektedir.
Çatlak sınıfında kesinlik 0,909, duyarlılık ise 0,868 olarak elde edilmiştir. Bu değerler, modelin çatlakları büyük ölçüde doğru biçimde tespit ettiğini ve yanlış pozitiflerin sınırlı kaldığını göstermektedir. Genel duyarlılık değerinin 0,608 seviyesinde kalmasında ise sıva dökülmesi sınıfındaki düşük tespit oranının etkili olduğu görülmektedir.
Segmentasyon başarımını değerlendirmek için kullanılan mIoU değeri %70,6 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, modelin tespit ettiği hasarlı bölgelerin sınırlarını belirlemede genel olarak başarılı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte sıva dökülmesi sınıfındaki sınırlı örnek sayısı ve sınıflar arasındaki dengesizlik, segmentasyon performansının yorumlanmasında dikkate alınmalıdır.

4.4. Uçuş Kararlılık Analizi

Drone'un cephe önündeki yönelim kararlılığını incelemek için Gazebo ortamında uçuş testleri yapılmış ve roll, pitch ile yaw açıları QGroundControl üzerinden kaydedilmiştir. Görsel 4'te "Setpoint" referans açıyı, "Response" ise simülasyon sırasında ölçülen gerçek yönelim açısını göstermektedir. Üç eksende de ölçülen değerlerin genel olarak referans eğrilerini takip ettiği görülmektedir. Yaw açısı test süresince referans değer çevresinde kalmış ve büyük bir sapma göstermemiştir. Bu durum, drone'un simülasyon sırasında cepheye göre yönünü koruyabildiğini göstermektedir. Roll ekseninde küçük dalgalanmalar görülse de bu değişimler kısa süre içinde azalmıştır. Sürekli artan bir yana yatma hareketi oluşmamıştır. Pitch açısında da benzer şekilde büyük sapmalar gözlenmemiştir. Test boyunca roll ve pitch açılarındaki değişimler yaklaşık ±2° aralığında kalmıştır. Elde edilen sonuçlar, simülasyon koşullarında drone'un cephe önünde kararlı bir yönelim sağlayabildiğini ve kamera hareketinden kaynaklanabilecek büyük yönelim değişimlerinin sınırlı kaldığını göstermektedir.



Görsel 4. Simülasyondan elde edilen Yaw (a), Roll (b), Pitch (c) yönelim grafikleri

5. GENEL DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, bina dış cephelerindeki çatlak ve sıva dökülmelerinin görüntüler üzerinden tespit edilmesine yönelik YOLO tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Uçuş kısmı Gazebo ortamında test edilmiş, hasar tespit modeli ise açık kaynaklardan hazırlanan veri kümesi kullanılarak eğitilmiştir. Elde edilen sonuçlar, modelin çatlak sınıfında daha başarılı olduğunu, sıva dökülmesi sınıfında ise performansın daha düşük kaldığını ve bu farkın sebebinin ise, veri kümesindeki sınıf dengesizliğiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Model çıktılarının daha pratik incelenebilmesi için ayrıca Python tabanlı bir uygulama hazırlanmış ve tespit edilen hasarlar görüntü üzerinde güven değerleriyle birlikte gösterilmiştir. Fiziksel drone prototipi bu çalışma kapsamında tamamlanmamış olduğundan istemin gerçek saha koşullarındaki performansı henüz değerlendirilmemiştir. Gelecek çalışmalar için modelin Raspberry Pi 5 üzerinde çalıştırılması, gerçek bina cephelerinden görüntü toplanması ve özellikle sıva dökülmesi sınıfına ait veri sayısının artırılması planlanmaktadır. Veri kümesine farklı yüzey kusurlarının eklenmesi ve GPS bilgilerinin tespit sonuçlarıyla eşleştirilmesi de yine sistemin kapsamını genişletebilir.

Sonuç olarak çalışma, drone tabanlı cephe incelemesine yönelik temel bir yazılım ve model altyapısı ortaya koymakta olup gerçek kullanım için bir sonraki adım, sistemin fiziksel platform üzerinde saha koşullarında test edilmesi olacaktır.

KAYNAKÇA

[1] Ly, K. K., & Phung, M. D. (2020). Built infrastructure monitoring and inspection using UAVs and vision-based algorithms. *arXiv preprint arXiv:2005.09486*. (Erişim tarihi: 15.10.2026)

[2] Perez, H., Tah, J. H., & Mosavi, A. (2019). Deep learning for detecting building defects using convolutional neural networks. *Sensors*, *19*(16), 3556.

[3] Chen, Y., Zhu, Z., Lin, Z., & Zhou, Y. (2023). Building surface crack detection using deep learning technology. *Buildings*, *13*(7), 1814.

[4] Kumar, P., Batchu, S., & Kota, S. R. (2021). Real-time concrete damage detection using deep learning for high rise structures. *IEEE Access*, *9*, 112312-112331.

[5] Gonzalez, R.C. ve Woods, R.E., *Digital Image Processing*, Pearson/New York, 2018.

[6] Canny, J. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, (6), 679-698.

ASSOCIATIONS OF AI-ASSISTED WORK WITH PERCEIVED TIME SAVING AND TASK PERFORMANCE: A SURVEY OF YEMENI ENGINEERS IN TÜRKİYE

Hayat Mohammed Ahmed Ali GALHOF

Department of Industrial Engineering, Karabük University, Karabük, Türkiye,

hayatmohammedgalhof@gmail.com - https://orcid.org/0009-0000-6447-5142

Asst. Prof. Dr. Ahmet Ziyaeddin BULUM

Department of Industrial Engineering, Karabük University, Karabük, Türkiye,

ahmetbulum@karabuk.edu.tr - https://orcid.org/0000-0003-2374-0135

ABSTRACT

Generative AI tools such as ChatGPT, Microsoft Copilot, Gemini, and Claude have spread rapidly through professional and academic work, yet how their use relates to time saving and task performance among engineers, particularly in migrant professional communities, remains underexamined. This study examined whether AI-assisted work is associated with perceived time saving and perceived task performance among Yemeni engineers in Türkiye, and whether perceived time saving is associated with perceived task performance. A cross-sectional online survey of 50 Yemeni engineers used a purpose-built 19-item questionnaire informed by the Technology Acceptance Model and Task–Technology Fit theory. AI-Assisted Work, Time Saving, and Task Performance were rated on five-point Likert scales (Cronbach's $\alpha = .72–.75$), and responsible and critical AI use was measured descriptively ($\alpha = .80$). SPSS analyses comprised reliability testing, Pearson correlation, and linear regression. AI-assisted work was positively associated with perceived time saving ($r = .35$, 95% CI [.08, .57], $p = .012$) but not significantly with perceived task performance ($r = .27$, 95% CI [−.01, .51], $p = .057$). Time saving was associated with task performance ($r = .34$, 95% CI [.07, .56], $p = .017$). When both predictors were entered together ($R^2 = .14$), neither reached significance (time saving, $p = .063$; AI-assisted work, $p = .234$). The differences between these associations were not tested, and their confidence intervals overlap. Given the small sample (limited power and imprecise estimates), the newly developed and not yet validated questionnaire, and the cross-sectional, self-reported design, the findings are preliminary, exploratory, and associational and do not support causal or mediation claims.

Keywords : AI-assisted work; time saving; task performance; human–AI collaboration; technology acceptance; Task–Technology Fit; engineering productivity

1. INTRODUCTION

1.1 Background

ChatGPT was released publicly in late 2022, and within a few years generative AI tools had become part of routine professional and academic work. Analyses of task exposure suggest that

large language models could affect a meaningful proportion of tasks in a large share of occupations, and that a substantial minority of tasks could be completed significantly faster at similar quality when workers have access to them (Eloundou et al., 2024). Engineers now use ChatGPT, Microsoft Copilot, Google Gemini, and Claude to draft reports, check calculations, search for standards, and organize project documentation. A survey of practicing engineers likewise documented work-based ChatGPT use that differs across career levels (Murray et al., 2026).

Industrial Engineering has long treated the relationship between work methods, time, and performance as a central concern, from time-and-motion study to work measurement. From this perspective, AI-assisted work is a recent change in work method, and the practical question is whether it alters how long tasks take, how well they are done, and under which conditions. Recent scholarship on Industry 5.0 emphasizes the human-centric integration of technology into work systems (Ivanov, 2023), while research agendas on AI in operations management note that the adoption of AI tools, and the benefits that follow from it, are still poorly understood (Venkatesh, 2022; Venkatesh et al., 2024).

1.2 Related work and research gap

Empirical studies of generative AI report fairly consistent time savings on knowledge-work tasks (Noy & Zhang, 2023; Peng et al., 2023; Cui et al., 2025), whereas the evidence on quality and decision outcomes is more mixed (Dell'Acqua et al., 2023; Vaccaro et al., 2024). Two further findings caution against equating perceived with realized benefits. In a randomized trial with experienced open-source developers, allowing AI tools lengthened task completion by 19%, even though participants believed the tools had sped them up (Becker et al., 2025). In a field experiment with nearly 1,000 high-school students in Türkiye, unrestricted GPT-4 access improved performance on practice problems but reduced later performance on an unassisted exam (Bastani et al., 2025).

Most of this evidence comes from software development, consulting, customer-service, and school settings. Engineering-specific work is sparser and often concerns students (Jooste et al., 2025; Section 2.5). To the best of our knowledge, no published study has examined AI-assisted work among Yemeni engineers in Türkiye, a community that combines professional practice, postgraduate study, and adjustment to a new country. The research on AI use in Yemen that we are aware of concerns university language learners (Alkamel & Alwagieh, 2024).

The context may also matter for a practical reason. Engineers working outside their first-language environment may turn to AI tools for language-related tasks, and AI-generated text has been described as offering both affordances and contradictions to second-language writers (Warschauer et al., 2023). The present study does not measure this; it is simply offered as a rationale for examining this population, not as a result.

1.3 Problem statement

How AI-assisted work relates to time saving and task performance among Yemeni engineers in Türkiye has not been measured. Individuals and organizations are therefore left to make their judgments, mostly on intuition, whether investing the time needed to learn and use these tools, they will get time saved or obtain better task results. The situation is not unfamiliar in Industrial

Engineering, a new work method was introduced into practice before having been measured its repercussions. This paper aims at addressing that specific void; it does not claim that AI and productivity has not been studied in general.

1.4 Objectives, research questions, and contributions

The objective of this study is to investigate the associations between AI-assisted work and self-reported time saving and task performance of Yemeni engineers residing, studying, or working in Türkiye, as well as consider their implications for supporting engineering work. The paper presents three contributions:

- It extends the empirical base on AI-assisted work, which comes mainly from software engineering, consulting, customer-service, and school samples, to a specific and under-studied engineering population.
- It uses a parsimonious model that integrates the Technology Acceptance Model (Davis, 1989) and Task–Technology Fit theory (Goodhue & Thompson, 1995), suitable for a small sample size and avoiding overly specified structural models not supported by the data.
- It differentiates between time saving and task performance as separate outcome variables while also considering responsible and critical AI use as an additional dependent variable instead of focusing on one aggregated indicator of productivity.

Section 3.1 provides conceptual and operational definitions. The study explores the following research questions (RQ) and hypotheses (H):

- **RQ1:** To what extent, and with which tools, do Yemeni engineers in Türkiye use AI-assisted tools in their engineering, professional, research, or academic tasks?
- **RQ2 / H1:** Is AI-assisted work associated with perceived time saving?
- **RQ3 / H2:** Is AI-assisted work associated with perceived task performance?
- **RQ4 / H3:** Is perceived time saving associated with perceived task performance, and does this association persist when AI-assisted work is held constant? The second part is exploratory.
- **RQ5:** How do respondents describe their verification of AI output and their reliance on their own professional judgment (descriptive)?

1.5 Organization of the paper

Section 2 would present a review of literature, the development of framework and hypotheses. Section 3 would be concerned with research design, sample design, instrument development, analysis strategy including validity, reliability and common method bias. Section 4 presents the results, Section 5 discusses them together with their implications and limitations, and Section 6 concludes and outlines directions for future research. The questionnaire is provided in Appendix A.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Theoretical framework

This study draws on two established theories rather than proposing a new one. The Technology Acceptance Model (TAM; Davis, 1989) holds that perceived usefulness, the belief that a technology enhances one's performance, is a central driver of technology use. Acceptance theory has since been extended to AI tools (Venkatesh, 2022) and to ChatGPT use in the academic community (Strzelecki et al., 2024). In the present study, the Time Saving and Task Performance scales capture perceived, usefulness-type outcomes of AI use, whereas AI-Assisted Work captures the extent of use. TAM links perceived usefulness to use but does not state that use produces those outcomes. The associations tested here are therefore treated as correlational: a cross-sectional design cannot show whether use raises perceived usefulness, whether perceived usefulness raises use, or whether both occur.

Task–Technology Fit theory (TTF; Goodhue & Thompson, 1995) adds that a technology improves individual performance when its capabilities match the tasks it supports. This is relevant to engineering, where tasks vary widely (calculation, documentation, standards search, coding, design review) and AI tools are unlikely to suit all of them equally. Task–technology fit is not measured directly in this study. It instead motivates the task-specific item wording and frames the interpretation of the results, and its absence from the design is acknowledged as a limitation (Section 5.4).

2.2 AI-assisted work and human–AI collaboration

Research on AI-assisted work has grown quickly since generative AI tools became widely available at the end of 2022. Early laboratory and field studies found that access to a generative AI assistant changes how professionals allocate effort within a task, often moving time away from routine drafting or searching and toward review and refinement (Noy & Zhang, 2023; Peng et al., 2023). A survey of 319 knowledge workers similarly reported that generative AI shifts critical thinking toward verifying outputs, integrating responses, and overseeing tasks (Lee et al., 2025). A meta-analysis of more than one hundred experiments further found that human–AI combinations do not automatically outperform the better of humans or AI alone, with gains more consistent for content-creation than for decision-making tasks (Vaccaro et al., 2024). This fits the TTF logic above: AI assistance may help some engineering tasks more than others.

2.3 AI and time efficiency

Time savings are the most consistently reported benefit of generative AI assistance. Participants using ChatGPT on professional writing tasks finished about 40% faster, and their output was rated about 18% higher in quality (Noy & Zhang, 2023). Software developers using GitHub Copilot completed a coding task 55.8% faster than a control group (Peng et al., 2023), and a pooled analysis of three field experiments with almost 5,000 developers found a roughly 26% increase in weekly completed tasks (Cui et al., 2025). Consultants using generative AI completed more tasks in less time than controls (Dell'Acqua et al., 2023), and a field study of customer-support agents found double-digit productivity gains concentrated among less

experienced workers (Brynjolfsson et al., 2025). On this basis, H1 is reasonably well grounded in the literature.

Speed gains are not guaranteed, however. Experienced developers working on their own mature repositories took longer with AI tools while believing they had been faster (Becker et al., 2025). This gap between measured and perceived effects bears directly on the present study, whose outcome measures are perceptions.

2.4 AI and task performance

Evidence on task performance and quality is more mixed than evidence on speed. Consultants using the tool created higher quality work for the tasks the tool was capable of doing, but were less likely to reach the correct answer for the one it was not (Dell'Acqua et al., 2023), and a study conducted by Vaccaro et al. (2024) showed that human-AI combinations had worse performance when it came to decision-making. Performance with AI assistance may also differ from performance without it: high-school students given unrestricted GPT-4 access improved their practice grades by 48% but scored 17% lower than controls once access was withdrawn, whereas a version with learning safeguards largely avoided this loss (Bastani et al., 2025). A randomized experiment with dental interns reported higher task-performance scores and lower perceived task load with AI assistance (Bhadila et al., 2026); its design is closely related, although the population and task differ from engineering practice. This body of work lends some support to H2, but it also shows that a positive AI–performance relationship cannot be assumed. According to TTF, such a relationship should hold only to the extent that the tool fits the task.

2.5 AI in engineering and knowledge work

Engineering-specific research on generative AI is comparatively young. Surveys of students and faculty, including senior computer engineering students (Shoufan, 2023) and college students more broadly (Baek et al., 2024), report generally favorable but cautious perceptions of ChatGPT, and a recent study of engineering students examines their perceptions and use of generative AI tools (Jooste et al., 2025). Evidence on practicing engineers is scarcer: a 2023 survey of 86 engineers documented ChatGPT use in the workplace and its uneven uptake across career levels (Murray et al., 2026). None of these studies addresses a specific migrant professional community. A related strand examines AI use and cognitive workload. Among pre-service teachers working on AI-supported pedagogical design tasks, infrequent AI users reported higher mental demand, effort, and frustration and lower perceived task performance, while some workload dimensions were lowest among occasional users (Danişman & Evran Acar, 2026). Although the population and tasks differ from engineering practices, this study provides a precedent for investigating the relationship between perceived workload and perceived performance as two distinct outcomes.

2.6 Human verification and responsible AI use

A related line of work investigates mechanisms by which humans calibrate their trust in AI systems and evaluate the truth of claims made by them. Glikson and Woolley (2020) analyze factors that influence humans' trust in AI, including reliability and transparency. Vereschak et al. (2021) discuss methodological approaches to studying trust in the context of algorithmic

decision support and note a discrepancy between verbal reports of trust and self-reported reliance on AI. In the context of software engineering, a user study of an AI-powered code generation tool finds that users are often unable to comprehend, modify, or debug code produced by the system (Vaithilingam et al., 2022). Similarly, position papers on the use of large language models in education emphasize the importance of critical thinking and fact-checking when using such systems (Kasneci et al., 2023). This body of work informs the responsible-use measure (Appendix A, Section E), which supplements the tested framework by contextualizing it within broader considerations of responsibility, but is not itself a fourth construct.

2.7 Synthesis and research gap

The reviewed studies are organized in three clusters. The first group of studies (a) consists of extensive field experiments in the settings of software engineering, consulting, and customer service, which identify mostly consistent gains in terms of time saved, and more mixed effects on quality (Peng et al., 2023; Dell'Acqua et al., 2023; Cui et al., 2025; Brynjolfsson et al., 2025), potentially with diverging perceived and measured effects (Becker et al., 2025; Bastani et al., 2025). The second (b) comprises meta-analytic and trust-focused work that qualifies these findings by task type and by how far users verify AI output (Vaccaro et al., 2024; Glikson & Woolley, 2020; Vereschak et al., 2021; Lee et al., 2025). The third (c) is a smaller set of studies of students, faculty, trainees, and a limited number of practicing engineers that address related questions in education and workplace settings (Shoufan, 2023; Jooste et al., 2025; Murray et al., 2026; Bhadila et al., 2026; Danişman & Evran Acar, 2026). Clusters (a) and (b) do not include Yemeni engineers, and cluster (c) does not address this community. To the best of our knowledge, no study jointly measures AI-assisted work, time saving, and task performance as separate constructs within a TAM/TTF-informed model for Yemeni engineers in Türkiye. The gap is therefore narrow and population-specific, and the study is framed as an exploratory, context-specific contribution.

2.8 Research hypotheses

H1. AI-assisted work is positively associated with perceived time saving among Yemeni engineers in Türkiye. *Rationale:* time saving is the most consistently reported effect in the literature on generative AI and professional work (Section 2.3), and TAM treats perceived usefulness, here time saved, as closely tied to technology use.

H2. AI-assisted work is positively associated with perceived task performance. *Rationale:* several field experiments report quality gains alongside speed gains (Section 2.4), although TTF suggests the association should depend on how well the tool fits the task. Task fit is not measured here, so this dependence is not tested.

H3. Perceived time saving is positively associated with perceived task performance. *Rationale:* time freed from routine activity may plausibly be redirected toward checking, refining, or more careful thinking about a task. This mechanism cannot be captured and tested with the current design. As an exploratory analysis (RQ4), the analysis also investigates whether this association remains when controlling for work with artificial intelligence.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1 Research design and conceptual framework

The study employed a cross-sectional quantitative survey. From each respondent, data were collected only once, which limits inferences to associations between AI-assisted work, time saving, and performance but not to causal relations (see Section 5.4). Since a structural equation model with several latent constructs would be statistically unreliable with only 50 respondents (typically hundreds of cases are needed), the analysis was limited to three directly measured constructs linked by three simple paths (Figure 1) based on the TAM/TTF framework of Section 2.1.

AI-Assisted Work (predictor). The extent to which an individual adopts AI powered tools (ChatGPT, Copilot, Gemini, Claude etc.) and incorporates them into their engineering, professional, research, or academic tasks, averaged across 5 items (Appendix A, Section B).

Time Saving (outcome 1). The extent to which a person feels that they are saved time by using AI assistance to accomplish tasks, search for information, or perform repetitive functions, as measured by the mean of five items in Section C.

Task Performance (outcome 2). The extent to which an individual believes that assistance from artificial intelligence contributes positively towards completion, accuracy, quality, and problem solving of his or her task, which is determined by mean of five items (section D) after reverse-scoring the negatively worded item.

Responsible and Critical AI Use (contextual variable). Four items (Section E) capture how extensively respondents evaluate the accuracy of the results of AI and to what extent they rely on their own professional judgment. This is a descriptive variable that is not included in the tested hypothesis model.

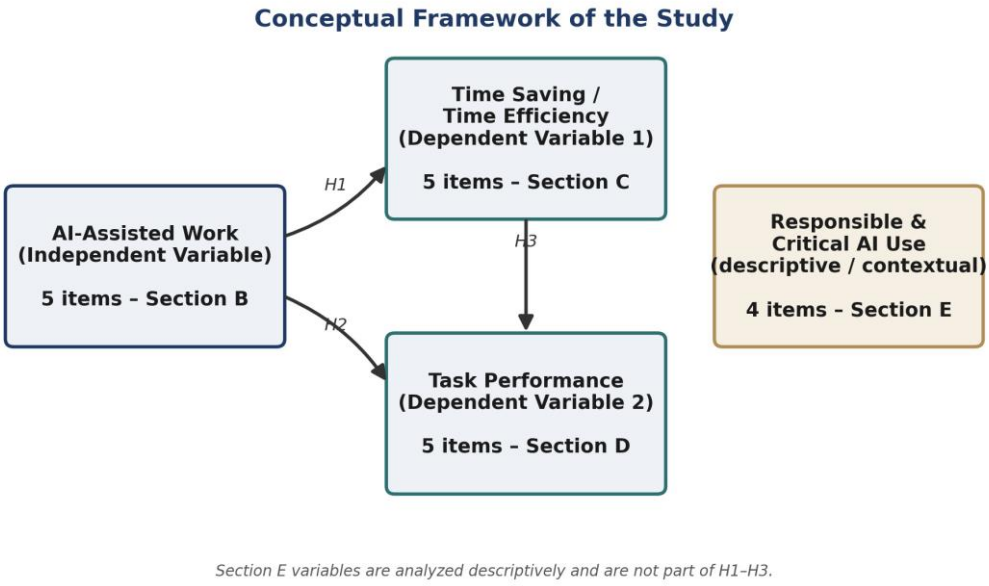


Figure 1. Conceptual framework. Arrows denote hypothesized associations (H1–H3), not causal effects. Responsible and Critical AI Use is analyzed descriptively and is not part of H1–H3.

3.2 Population and sample

The target population was Yemeni engineers, male and female, living, studying, or working in Türkiye. Respondents were recruited through the authors' professional and academic networks, Yemeni student and professional community groups in Türkiye, and snowball referral. The sample is therefore purposive and convenience-based rather than random or representative; this suits an exploratory study of this scope but limits generalization (Section 5.4). Eligibility required (i) Yemeni nationality or Yemeni engineering background, confirmed by respondents through the consent statement (Appendix A); (ii) current residence in Türkiye; (iii) being an engineering graduate, a practicing engineer, or a student in an engineering-related postgraduate program; (iv) use of at least one AI tool for professional, engineering, research, or academic tasks; and (v) age of 18 years or older. Because prior AI use was required, non-users are excluded, which restricts the range of AI-assisted work and rules out comparison with non-users. The final sample comprised 50 complete, eligible respondents.

3.3 Instrument development

The questionnaire (Appendix A) was developed for this study rather than adopted from a validated scale. The items were informed by TAM and TTF constructs, particularly perceived usefulness (Davis, 1989) and task-technology fit (Goodhue & Thompson, 1995), but no published scale was replicated. The content validity was assessed by the academic supervisor who is also a co-author, and the instrument was piloted with a small group of respondents who were excluded from the final sample, to test item clarity and overall time needed. The pilot served these purposes only; it was not used for psychometric evaluation, and its data are not part of the results reported here. All scale sections use a five-point Likert format (1 = strongly disagree to 5 = strongly agree), and completion takes about 5–7 minutes.

Two features of the instrument should be noted. First, the Section C and D items ask respondents directly about the effect of AI tools on their work, so the scales measure perceived and attributed outcomes rather than objective time or performance. Second, the reverse-coded item D5 concerns difficulty in judging whether work is correct and may capture a partly distinct aspect from the other Task Performance items. With D5 reverse-scored and retained, the scale reached $\alpha = .75$ (Table 3). This is adequate for an exploratory instrument but constitutes evidence of internal consistency only. Evidence of validity is limited to content review by a single reviewer; factor structure, convergent and discriminant validity, and test–retest reliability were not assessed, so all scale scores should be treated as provisional indicators of the intended constructs.

3.4 Data collection

The questionnaire was distributed electronically through Google Forms, by direct messages to eligible contacts, through Yemeni student and professional community groups, and by snowball referral. The form stayed open until 50 complete, eligible responses had been collected, and no incentive was offered. Respondents who selected "Never" for AI-tool use (item A7) were ineligible and did not proceed to Sections B–F; accordingly, all 50 respondents in the final sample reported using AI tools at least rarely (Table 2). A further 30 respondents were excluded from analysis because they indicated that they were not residing in Türkiye (eligibility criterion

ii). The research process involved a series of steps including developing the construct and instrument, supervisor approval, pilot testing, revision, distribution, screening, analysis, and reporting.

3.5 Statistical analysis

The statistical analysis of the data was performed in IBM SPSS Statistics. The analysis included the data screening process, calculation of descriptive statistics for the demographic characteristics of the participants and the research constructs, calculation of Cronbach's alpha to assess the reliability of the constructs ($\alpha \geq .70$ was considered acceptable, while $\alpha \geq .60$-$.70$ was reported with caution), calculation of Pearson's product-moment correlations between the four constructs, and linear regression analysis to test the hypotheses H1-H3. For the regression analysis, the unstandardized coefficient (B), standard error (SE), standardized coefficient (β), t, p, 95% confidence interval, and R^2 were extracted. One multiple regression, in which Task Performance was regressed on AI-Assisted Work and Time Saving together, addresses the exploratory part of RQ4, and collinearity was checked with the variance inflation factor (VIF). Confidence intervals for correlations were computed with the Fisher *z* transformation. Table 1 maps each research question to its analysis.

Formal normality tests and rank-based (Spearman) robustness analyses are not part of the reported analysis. Because the constructs are means of a few Likert items and the sample is small, the Pearson correlations, regression estimates, and confidence intervals assume approximate normality and linearity that were not formally verified, and they should be read as approximate. Given the sample size, the analysis avoids structural equation modeling, formal mediation testing, and subgroup comparisons on small cells. No correction was made for multiple testing, and results are interpreted cautiously. A sensitivity calculation (two-tailed $\alpha = .05$, Fisher *z* approximation) shows that a sample of 50 gives power of .80 only for correlations of about $r \geq .39$; non-significant results therefore cannot be read as evidence of no association. Correlations estimated from samples of this size are also imprecise, and simulation work suggests that they approach stability only at samples near 250 in typical scenarios (Schönbrodt & Perugini, 2013).

Table 1. Mapping of research questions and hypotheses to analyses

Question / hypothesis	**Variables**	**Analysis**
RQ1	Frequency of AI use (A7) and main tool (A9)	Frequencies and percentages
H1	AI-Assisted Work and Time Saving	Pearson correlation; simple linear regression
H2	AI-Assisted Work and Task Performance	Pearson correlation; simple linear regression
H3	Time Saving and Task Performance	Pearson correlation; simple linear regression

Question / hypothesis	Variables	Analysis
RQ4 (exploratory)	Task Performance on AI-Assisted Work and Time Saving together	Multiple linear regression with VIF
RQ5	Responsible and Critical AI Use (Section E)	Means, SD, correlations

Note. Items A8 (main purpose of AI use) and F1 (open-ended question) were collected as exploratory items and are not analyzed in this report.

3.6 Validity and reliability

Content validity was addressed through review by the academic supervisor and a pilot test before distribution, rather than assumed from item wording. Because the review involved a single reviewer, content validity should be regarded as provisional. Internal consistency is assessed through Cronbach's alpha for each multi-item scale, and any scale falling below conventional thresholds would be reported and discussed as a limitation. In a similar vein because it is new, the instrument's construct validity is still tentative. Exploratory factor analysis is not feasible with this sample size and has been left for future, larger-scale application of the instrument.

3.7 Common method bias

Because AI-Assisted Work, Time Saving, and Task Performance were measured by the same respondent at the same time, common method bias may be a concern (Podsakoff et al., 2003). Procedures intended to minimize this bias include maintaining respondent anonymity, using simple and straightforward item wordings, and including one reverse-coded item (D5). In addition, we performed Harman's single-factor test with all scale items as a preliminary cross-validation procedure. This test is not definitive, given the relatively small sample size (N=50) and a modest number of items (19 items), but the results are discussed in Section 4.3 and bias was not detected.

4. RESULTS

4.1 Participant characteristics

Of the 50 respondents, 68% (n = 34) were male and 32% (n = 16) female. The largest age group was 25–34 years (48%, n = 24), followed by under 25 (24%, n = 12), 35–44 (20%, n = 10), and 45 or above (8%, n = 4). Civil (24%), mechanical (20%), and electrical/electronic (18%) engineering specializations were the most common ones among participants. Concerning the level of education, 44% of respondents (n = 22) were Master's students, 28% of them (n = 14) had a Bachelor's degree as the highest one, 20% (n = 10) were Master's degree holders, and 8% (n = 4) were PhD students or graduates. In terms of employment status, 36% were employed engineers, 32% were postgraduate students only, and 24% were both employed and studied. As for RQ1, 38% used AI tools "often" and 18% – "very often" (56% in total), while 32% did that "sometimes" and 12% – "rarely". ChatGPT was the most commonly used tool (66%), followed by Microsoft Copilot (14%) and Google Gemini (12%).

Table 2. Participant characteristics (N = 50)

Variable	Category	n	%
Gender	Male	34	68%
	Female	16	32%
Age group	Under 25	12	24%
	25–34	24	48%
	35–44	10	20%
	45+	4	8%
Specialization	Civil	12	24%
	Mechanical	10	20%
	Electrical/Electronics	9	18%
	Industrial	8	16%
	Computer/Software	7	14%
	Architecture	3	6%
	Other	1	2%
Education	Bachelor’s	14	28%
	Master’s student	22	44%
	Master’s degree	10	20%
	PhD student/holder	4	8%
Current status	Employed	18	36%
	Postgraduate only	16	32%
	Both	12	24%
	Seeking employment	3	6%
	Other	1	2%
Experience	<1 year	10	20%
	1–3 years	18	36%
	4–7 years	14	28%
	8+ years	8	16%
AI-use frequency	Rarely	6	12%
	Sometimes	16	32%
	Often	19	38%
	Very often	9	18%

Variable	Category	n	%
Main AI tool	ChatGPT	33	66%
	Copilot	7	14%
	Gemini	6	12%
	Claude	3	6%
	Other	1	2%

Note. Percentages are of $N = 50$ and were rounded to whole numbers.

4.2 Descriptive statistics and reliability

Table 3 presents the mean, standard deviation, and Cronbach's alpha of each construct. All four scales reached the conventional $\alpha \geq .70$ threshold ($\alpha = .72$ to .80), which indicates internal consistency only and does not establish the construct validity of these newly developed scales; with $N = 50$, the alpha estimates are themselves imprecise. Responsible and Critical AI Use had the highest mean ($M = 3.99$, $SD = 0.56$) and the highest reliability ($\alpha = .80$), whereas Task Performance had the lowest mean of the three tested constructs ($M = 3.46$, $SD = 0.53$).

Table 3. Descriptive statistics and reliability (N = 50)

Construct	Items	M	SD	Cronbach's α
AI-Assisted Work	5	3.80	0.53	.72
Time Saving	5	3.71	0.55	.73
Task Performance	5 (1 reversed)	3.46	0.53	.75
Responsible and Critical AI Use	4	3.99	0.56	.80

4.3 Common method bias check

In Harman's single-factor test on all 19 scale items, the first unrotated factor accounted for 23.8% of total variance, well below the 50% threshold commonly used as a rough indicator of a serious problem. This suggests that common method bias is unlikely to be the sole explanation for the associations reported below. The test remains a limited diagnostic, however, and does not replace the design-based safeguards described in Section 3.7.

4.4 Correlation analysis

Table 4 reports the Pearson correlations. AI-Assisted Work correlated significantly with Time Saving ($r = .35$, 95% CI [.08, .57], $p = .012$) but not significantly with Task Performance ($r = .27$, 95% CI [−.01, .51], $p = .057$). Time Saving, in turn, correlated significantly with Task Performance ($r = .34$, 95% CI [.07, .56], $p = .017$). Responsible and Critical AI Use was not significantly correlated with any of the three main constructs (all $p > .12$).

Table 4. Pearson correlations (N = 50)

	AI-Assisted Work	Time Saving	Task Performance	Responsible Use
AI-Assisted Work	1			
Time Saving	r = .35*, p = .012	1		
Task Performance	r = .27, p = .057	r = .34*, p = .017	1	
Responsible Use	r = .08, p = .590	r = .18, p = .210	r = .22, p = .127	1

Note. * $p < .05$ (two-tailed).

4.5 Hypothesis testing

H1 was supported in this sample: AI-assisted work predicted time saving ($B = 0.36$, $SE = 0.14$, $\beta = .35$, $t = 2.61$, $p = .012$, 95% CI [0.08, 0.65], $R^2 = .12$). H2 was not supported at the .05 level. The coefficient was in the expected direction, but the 95% confidence interval included zero ($B = 0.27$, $SE = 0.14$, $\beta = .27$, $t = 1.95$, $p = .057$, 95% CI [−0.01, 0.55], $R^2 = .07$). H3 was supported in this sample: time saving predicted task performance ($B = 0.33$, $SE = 0.13$, $\beta = .34$, $t = 2.48$, $p = .017$, 95% CI [0.06, 0.59], $R^2 = .11$). Table 5 summarizes these tests. Throughout, "predicted" denotes statistical prediction within a cross-sectional model and not a causal effect. With N = 50 these estimates are imprecise: the confidence intervals for B are wide and overlap across H1–H3, so the three associations cannot be ranked against one another.

Table 5. Simple regression results (N = 50)

Hyp.	Predictor → Outcome	B	SE	β	t	p	95% CI	R^2
H1	AI-Assisted Work → Time Saving	0.36	0.14	.35	2.61	.012	[0.08, 0.65]	.12
H2	AI-Assisted Work → Task Performance	0.27	0.14	.27	1.95	.057	[−0.01, 0.55]	.07
H3	Time Saving → Task Performance	0.33	0.13	.34	2.48	.017	[0.06, 0.59]	.11

For the exploratory part of RQ4, Task Performance was regressed on both predictors together (Table 6). The model explained $R^2 = .14$ (adjusted $R^2 = .10$), more than either simple model, and the overall model was significant, $F(2, 47) = 3.9$, $p = .03$. Neither predictor was significant at the .05 level: for Time Saving, $B = 0.27$, $t = 1.91$, $p = .063$; for AI-Assisted Work, $B = 0.17$, $t = 1.20$, $p = .234$. The Time Saving coefficient was the larger of the two, but the difference between them was not tested. Collinearity was unremarkable (VIF = 1.14 for both predictors). The association between time saving and task performance therefore did not remain significant

once AI-assisted work was held constant. Given the limited power, this does not show that the association disappears.

Table 6. Multiple regression of Task Performance on AI-Assisted Work and Time Saving (N = 50)

Predictor	B	β	t	p	VIF
Time Saving	0.27	.28	1.91	.063	1.14
AI-Assisted Work	0.17	.17	1.20	.234	1.14

Note. R^2 = .14; adjusted R^2 = .10; $F(2, 47) = 3.9$, p = .03.

4.6 Responsible and critical AI use (RQ5)

Respondents reported high responsible and critical AI use (M = 3.99, SD = 0.56, α = .80), the highest mean of the four constructs, and this measure was not significantly correlated with the other three (Table 4). Responses to the open-ended item F1 are not analyzed in this report.

5. DISCUSSION

5.1 Interpretation of findings

AI-assisted work was significantly and positively associated with perceived time saving (H1), in line with the strong evidence for time savings in the wider literature (Section 2.3). Its association with perceived task performance (H2) did not reach conventional significance (p = .057). With 50 respondents, this should not be read as evidence of no association, since the study has limited power and the confidence interval spans values from slightly negative to moderately positive. Time saving, in turn, was significantly associated with task performance in the simple model (H3). Because the confidence intervals for the three simple associations overlap and their differences were not tested, the results do not support one relationship over another.

When both predictors were entered together, neither was significant, and the coefficient for AI-assisted work fell from .27 to .17. One possible explanation is that AI-assisted work influences perceived performance partly through the mechanism of perceived time saving. But this is speculative, given that the analysis was not a formal mediation test, that the coefficients were not compared formally, that the sample is small, and that the design is cross-sectional. The pattern is equally consistent with other explanations; for instance, engineers who are more organized may both use AI more and report better outcomes. A larger sample and a formal mediation analysis would be necessary to explore this possibility.

Because the Time Saving and Task Performance items ask respondents to attribute changes to AI, the H1 result may be partially due to a general tendency to favor benefits of a tool already used rather than those actually realized. Evidence that measured and perceived effects can differ (Becker et al., 2025) and that use of AI can increase assisted performance while decreasing unassisted performance (Bastani et al., 2025) adds to this caution.

5.2 Comparison with prior literature

The time-saving association is consistent with the findings of the studies reviewed in Section 2.3 (Noy & Zhang, 2023; Peng et al., 2023; Dell'Acqua et al., 2023; Cui et al., 2025), which highlight the most consistently reported benefit of generative AI assistance as gains in speed. The weaker association with task performance is broadly consistent with Vaccaro et al. (2024), who found that human–AI combinations do not automatically improve outcomes, particularly for tasks with a strong judgment component, as many engineering tasks have. Their outcomes were objective performance measures, whereas ours are perceptions, so the parallel is suggestive only. The positive but partial association between AI use and perceived performance also broadly accords with Danişman and Evran Acar (2026), who reported lower perceived performance among infrequent AI users than among more frequent users, although in a different population and task. The high self-reported verification score is compatible with the emphasis on checking AI output in the trust and critical-thinking literature (Vereschak et al., 2021; Lee et al., 2025; Kasneci et al., 2023). This study, however, did not measure confidence in AI, which Lee et al. (2025) link to how much critical thinking workers apply. These comparisons are indicative only, because the studies differ in design, population, and outcome measures, and most of the field experiments rely on objective rather than self-reported measures.

5.3 Theoretical and practical implications

Theoretically, the results are compatible with TAM's link between use and perceived usefulness for the time-saving outcome, while the weaker link with performance is compatible with TTF's point that benefits depend on task fit. Because task fit was not measured, this reading cannot be tested here. Future work could add a task-fit measure and test time saving formally as a mediator.

Practically, the pattern is too tentative to guide decisions on its own, but it is consistent with the view that access to AI tools should not be assumed to improve the perceived quality of work. Support might instead focus on how saved time is reinvested, for example in review and verification (Section 2.6), which agrees with human-centric framings of technology in work systems (Ivanov, 2023), where a tool's value depends on how it is embedded in work methods. These implications are limited to the sample studied, which mixes postgraduate students and employed engineers, and they cannot be generalized to organizations. The high and largely uncorrelated Responsible and Critical AI Use score (M = 3.99) suggests that verification behavior was not simply a by-product of heavier AI use in this sample. Given the limited power, however, the absence of significant correlations should not be taken to show independence, and because the measure is self-reported it may also reflect social desirability.

5.4 Limitations

This study has several limitations. (1) The sample is small (N = 50), non-random, and recruited by snowball sampling, so it is not representative of Yemeni engineers or of engineers in Türkiye; it is also under-powered for small and moderate effects, and correlation estimates from samples of this size are imprecise (Schönbrodt & Perugini, 2013). In practice, power of .80 is achieved only for $r \geq .39$, confidence intervals are wide (for instance, .08 to .57 for H1), and the borderline H2 result ($p = .057$) cannot be interpreted in any direction, so that all results are

preliminary and require replication in larger samples. (2) The sample comprises postgraduate students and employed engineers with different task contexts and is restricted to users of AI, thereby limiting the range of the predictor. (3) All constructs are self-reported at a single time point, with the risk of common method bias and social desirability. (4) The Time Saving and Task Performance items explicitly ask about the effects of AI, thus tapping into perceived, attributed outcomes, not objective time or quality, and perceived and measured effects can differ (Becker et al., 2025). (5) The cross-sectional design permits associations only and cannot exclude reverse causation and confounding; no covariates (e.g. experience, specialization, or frequency of use) were controlled. (6) The instrument is newly developed and not formally validated: Only content review by a single reviewer (a co-author) and Cronbach's alpha are available, and factor analysis (not feasible at this sample size), convergent and discriminant validity, and test-retest reliability are lacking. The scales may thus not capture the intended constructs distinctly, and associations among them may partly reflect shared method and item wording. Task–technology fit was not measured. (7) Multiple correlations and regressions were tested without correction for multiple testing. (8) Subgroup comparisons by specialization would be under-powered and were not attempted. (9) The AI tools involved are changing rapidly, so the findings describe a particular period of use. (10) Formal normality tests and rank-based robustness checks are not reported, so the parametric results rest on assumptions that were not formally verified.

6. CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this survey of 50 Yemeni engineers in Türkiye, AI-assisted work was significantly associated with perceived time saving, whereas its association with perceived task performance was weaker and did not reach conventional significance. Perceived time saving was in turn associated with perceived task performance, but this association was no longer significant once AI-assisted work was held constant. The data cannot show whether the weaker link with perceived performance reflects a genuinely more conditional outcome, for instance one that depends on how saved time is used, or simply the limited power of a small sample. Given the small sample, the newly developed and not yet validated questionnaire, the self-reported measures, and the cross-sectional design, the findings are preliminary, exploratory, and associational and should not be read as causal.

Future studies could build on these findings by:

- using larger, more systematically recruited samples to allow more precise estimates, factor analysis and formal validation of the instrument (including convergent and discriminant validity and test–retest reliability), explicit normality diagnostics with rank-based robustness analyses, and subgroup comparisons by specialization or experience;
- comparing engineers from other migrant professional communities or host countries to test whether the patterns are specific to this population;
- following AI use and perceived outcomes over time with longitudinal designs;
- testing time saving as a mediator formally, with a sample large enough to support it;

- adopting objective measures of task performance, such as time-stamped task completion or independently rated work quality;
- running controlled experiments in which engineers are randomly assigned to use or not use AI on a standardized task; and
- including non-users and measuring task–technology fit directly, which the present design does not.

DECLARATIONS

Data availability: The anonymized dataset and the questionnaire are available from the corresponding author on reasonable request.

Conflict of interest: The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have influenced the work reported in this paper.

Funding: This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Author contributions (CRediT): Hayat Mohammed Ahmed Ali Galhof: Conceptualization, Methodology, Investigation, Data curation, Formal analysis, Writing – original draft. Ahmet Ziyaeddin Bulum: Supervision, Validation, Writing – review & editing.

DECLARATION OF GENERATIVE AI AND AI-ASSISTED TECHNOLOGIES IN THE WRITING PROCESS

During the preparation of this work, the author(s) used generative AI tools solely to refine the academic language and readability of the manuscript. These tools were not used for study design, data collection or analysis, manuscript drafting, or drawing conclusions. The author(s) reviewed and edited all AI-assisted text, verified all statistical results and references against original sources, and take full legal and ethical responsibility for the content of the published work.

REFERENCES

Alkamel, M. A. A., & Alwagieh, N. A. S. (2024). Utilizing an adaptable artificial intelligence writing tool (ChatGPT) to enhance academic writing skills among Yemeni university EFL students. *Social Sciences & Humanities Open, 10,* Article 101095. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.101095

Baek, C., Tate, T., & Warschauer, M. (2024). “ChatGPT seems too good to be true”: College students’ use and perceptions of generative AI. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 7,* Article 100294. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100294

Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H., Kabakcı, Ö., & Mariman, R. (2025). Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 122*(26), Article e2422633122. https://doi.org/10.1073/pnas.2422633122

Becker, J., Rush, N., Barnes, E., & Rein, D. (2025). *Measuring the impact of early-2025 AI on experienced open-source developer productivity* (arXiv:2507.09089). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.09089

Bhadila, G. Y., Bahdila, D., Saber, N. O., & Alyafi, D. A. (2026). Impact of artificial intelligence on task performance and perceived task load: A pragmatic randomized experiment. *Frontiers in Education, 11*, Article 1754136. https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1754136

Brynjolfsson, E., Li, D., & Raymond, L. R. (2025). Generative AI at work. *The Quarterly Journal of Economics, 140*(2), 889–942. https://doi.org/10.1093/qje/qjae044

Cui, Z. K., Demirer, M., Jaffe, S., Musolff, L., Peng, S., & Salz, T. (2025). *The effects of generative AI on high-skilled work: Evidence from three field experiments with software developers* (SSRN Working Paper No. 4945566). https://doi.org/10.2139/ssrn.4945566

Danişman, Ş., & Evran Acar, F. (2026). Artificial intelligence use and cognitive resource allocation: Nonlinear associations with mental workload and perceived performance. *Journal of Intelligence, 14*(8), Article 154. https://doi.org/10.3390/jintelligence14080154

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

Dell'Acqua, F., McFowland, E., III, Mollick, E. R., Lifshitz-Assaf, H., Kellogg, K., Rajendran, S., Krayer, L., Candelon, F., & Lakhani, K. R. (2023). *Navigating the jagged technological frontier: Field experimental evidence of the effects of AI on knowledge worker productivity and quality* (Harvard Business School Working Paper No. 24-013). https://doi.org/10.2139/ssrn.4573321

Eloundou, T., Manning, S., Mishkin, P., & Rock, D. (2024). GPTs are GPTs: Labor market impact potential of LLMs. *Science, 384*(6702), 1306–1308. https://doi.org/10.1126/science.adj0998

Glikson, E., & Woolley, A. W. (2020). Human trust in artificial intelligence: Review of empirical research. *Academy of Management Annals, 14*(2), 627–660. https://doi.org/10.5465/annals.2018.0057

Goodhue, D. L., & Thompson, R. L. (1995). Task-technology fit and individual performance. *MIS Quarterly, 19*(2), 213–236. https://doi.org/10.2307/249689

Ivanov, D. (2023). The Industry 5.0 framework: Viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives. *International Journal of Production Research, 61*(5), 1683–1695. https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2118892

Jooste, J. L., Wolff, K. E., & Joubert, J. G. (2025). Engineering students' perceptions and use of generative artificial intelligence. *Computer Applications in Engineering Education, 33*, Article e70064. https://doi.org/10.1002/cae.70064

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., … Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences, 103*, Article 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

Lee, H.-P., Sarkar, A., Tankelevitch, L., Drosos, I., Rintel, S., Banks, R., & Wilson, N. (2025). The impact of generative AI on critical thinking: Self-reported reductions in cognitive effort and confidence effects from a survey of knowledge workers. In *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '25)* (Article 1121, pp. 1–22). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3706598.3713778

Murray, M., Maclachlan, R., Flockhart, G. M. H., Adams, R., Magueijo, V., Goodfellow, M., Liaskos, K., Hasty, W., & Lauro, V. (2026). A 'snapshot' of engineering practitioners' views of ChatGPT-informing pedagogy in higher education. *European Journal of Engineering Education, 51*(1), 104–129. https://doi.org/10.1080/03043797.2025.2492736

Noy, S., & Zhang, W. (2023). Experimental evidence on the productivity effects of generative artificial intelligence. *Science, 381*(6654), 187–192. https://doi.org/10.1126/science.adh2586

Peng, S., Kalliamvakou, E., Cihon, P., & Demirer, M. (2023). *The impact of AI on developer productivity: Evidence from GitHub Copilot* (arXiv:2302.06590). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.06590

Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J.-Y., & Podsakoff, N. P. (2003). Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of Applied Psychology, 88*(5), 879–903. https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.5.879

Schönbrodt, F. D., & Perugini, M. (2013). At what sample size do correlations stabilize? *Journal of Research in Personality, 47*(5), 609–612. https://doi.org/10.1016/j.jrp.2013.05.009

Shoufan, A. (2023). Exploring students' perceptions of ChatGPT: Thematic analysis and follow-up survey. *IEEE Access, 11*, 38805–38818. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3268224

Strzelecki, A., Cicha, K., Rizun, M., & Rutecka, P. (2024). Acceptance and use of ChatGPT in the academic community. *Education and Information Technologies, 29*, 22943–22968. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12765-1

Vaccaro, M., Almaatouq, A., & Malone, T. (2024). When combinations of humans and AI are useful: A systematic review and meta-analysis. *Nature Human Behaviour, 8*(12), 2293–2303. https://doi.org/10.1038/s41562-024-02024-1

Vaithilingam, P., Zhang, T., & Glassman, E. L. (2022). Expectation vs. experience: Evaluating the usability of code generation tools powered by large language models. In *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts (CHI EA '22)* (Article 332). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3491101.3519665

Venkatesh, V. (2022). Adoption and use of AI tools: A research agenda grounded in UTAUT. *Annals of Operations Research, 308*(1), 641–652. https://doi.org/10.1007/s10479-020-03918-9

Venkatesh, V., Raman, R., & Cruz-Jesus, F. (2024). AI and emerging technology adoption: A research agenda for operations management. *International Journal of Production Research, 62*(15), 5367–5377. https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2192309

Vereschak, O., Bailly, G., & Caramiaux, B. (2021). How to evaluate trust in AI-assisted decision making? A survey of empirical methodologies. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 5*(CSCW2), Article 327, 1–39. https://doi.org/10.1145/3476068

Warschauer, M., Tseng, W., Yim, S., Webster, T., Jacob, S., Du, Q., & Tate, T. (2023). The affordances and contradictions of AI-generated text for writers of English as a second or foreign language. *Journal of Second Language Writing, 62*, Article 101071. https://doi.org/10.1016/j.jslw.2023.101071

APPENDIX A. QUESTIONNAIRE

The questionnaire has six sections and takes about 5–7 minutes (Figure A1). Ratings in Sections B–E use a five-point Likert scale (1 = strongly disagree to 5 = strongly agree).

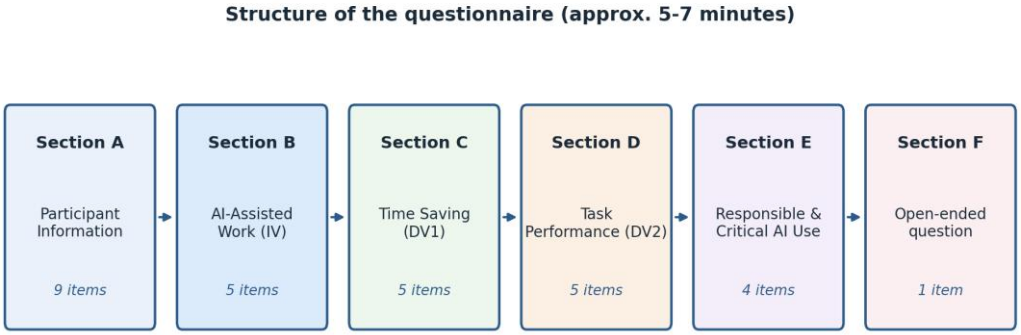


Figure A1. Structure of the questionnaire.

Introduction and informed consent

"Thank you for taking part in this short survey. I am a Master's student in Industrial Engineering studying how AI tools (such as ChatGPT, Copilot, Gemini, or Claude) relate to time saving and task performance among Yemeni engineers living, studying, or working in Türkiye. The survey takes about 5–7 minutes and is anonymous; no name or contact information is collected. Participation is voluntary, and you may stop at any time without any consequence. By

continuing, you confirm that you are 18 years or older, that you are a Yemeni engineer or engineering graduate currently in Türkiye, and that you agree to take part."

☐ I have read the above and agree to participate (required to proceed).

Section A. Participant information

- A1. Gender: Male / Female / Prefer not to say
- A2. Age group: Under 25 / 25–34 / 35–44 / 45 and above
- A3. Engineering specialization: Civil / Mechanical / Electrical-Electronics / Industrial / Computer or Software / Architecture / Other (please specify)
- A4. Highest level of education: Bachelor's degree / Master's student / Master's degree / PhD student or holder
- A5. Current status: Employed as an engineer / Postgraduate student only / Both employed and studying / Currently seeking employment / Other
- A6. Years of engineering experience: Less than 1 year / 1–3 years / 4–7 years / 8 years or more
- A7. How often do you use AI tools (e.g., ChatGPT, Copilot, Gemini, Claude) for professional, engineering, research, or academic tasks? Never (ends the survey) / Rarely / Sometimes / Often / Very often (daily or almost daily)
- A8. Main purpose of AI use: Writing or editing reports and documents / Searching for information or standards / Coding or calculations / Translation / Data analysis / Generating ideas or brainstorming / Other
- A9. AI tool used most often: ChatGPT / Microsoft Copilot / Google Gemini / Claude / Other (please specify)

Section B. AI-Assisted Work

- B1. I frequently use artificial intelligence tools to perform my engineering, professional, research, or classwork-related tasks.
- B2. AI tools have become a normal part of how I approach my work.
- B3. I rely on AI tools for tasks such as writing, searching for information, or calculations.
- B4. I feel comfortable incorporating AI tools into my regular workflow.
- B5. AI tools have changed the way I carry out my daily engineering or academic work.

Section C. Time Saving

- C1. My work with the help of AI tools becomes more productive and efficient.
- C2. AI tools reduce the time I spend searching for information.
- C3. AI tools reduce the time I spend on repetitive or routine activities.
- C4. AI tools help me organize my work more efficiently.

- C5. AI tools help me meet deadlines more comfortably.

Section D. Task Performance

- D1. AI tools help me complete tasks to a satisfactory standard.
- D2. The quality of my work has improved since I started using AI tools.
- D3. AI tools help me solve problems I encounter in my work.
- D4. AI tools help me produce more accurate work.
- D5. (Reverse-coded) Using AI tools sometimes makes it harder for me to judge whether my work is actually correct.

D5 is reverse-scored (1→5, 2→4, 3→3, 4→2, 5→1), before calculating task performance mean, so that higher values signify better perceived performance.

Section E. Responsible and Critical AI Use (descriptive)

- E1. I verify the information provided by AI tools prior to using it.
- E2. I am aware that AI tools can produce incorrect or misleading information.
- E3. I still use my own professional judgment even when AI suggests an answer or solution.
- E4. I see AI tools as a support to my work rather than a replacement for my own expertise.

Section F. Open-ended question (optional)

- F1. What Is the Main Advantage or Challenge in Using AI Tools in Your Engineering, Professional, Or Academic Activities?

Scores: AI-Assisted Work = mean of B1–B5; Time Saving = mean of C1–C5; Task Performance = mean of D1–D4 and reversed D5; Responsible and Critical AI Use = mean of E1–E4.

EFFECT OF HIGH-PRESSURE HOMOGENIZATION ON THE FLOW AND VISCOELASTIC PROPERTIES OF LOCUST BEAN GUM

Elif Nisanur Kaya
Yildiz Technical University
nnisakkose@gmail.com - 0009-0000-5542-6699

Assoc. Prof. Zeynep Hazal Tekin-Cakmak
Yildiz Technical University
hazal.cakmak@yildiz.edu.tr - 0000-0002-3369-3128

Prof. Salih Karasu
Yildiz Technical University
skarasu@yildiz.edu.tr - 0000-0002-2324-1865

Assoc. Prof. Abdullah Kurt
Yildiz Technical University
akurt@yildiz.edu.tr - 0000-0003-1452-3278

ABSTRACT

High-pressure homogenization (HPH) is an innovative processing technique that can be used for the physical modification of the functional properties of hydrocolloids. This study aimed to determine the effects of different HPH pressures on the steady-shear and dynamic rheological properties of locust bean gum (LBG). LBG solutions (0.75%, w/v) were dissolved at 85 °C for 30 min and subsequently homogenized in a single pass at 250, 500, 750, and 1000 bar. A non-homogenized sample was used as the control. Rheological measurements were performed at 25 °C. All samples exhibited shear-thinning behavior, which gradually weakened with increasing HPH pressure. As HPH pressure increased, apparent viscosity and the consistency index (K) progressively decreased, whereas the flow behavior index (n) increased. Apparent viscosity at 50 s^{-1} decreased from 0.365 Pa·s in the control to 0.060 Pa·s at 1000 bar. Similarly, K decreased from 1.795 to 0.075 Pa·s^n, while n increased from 0.585 to 0.955, indicating a shift toward Newtonian flow behavior. Dynamic measurements showed that the storage (G') and loss (G'') moduli increased with frequency, while G'' remained higher than G' throughout the investigated frequency range, indicating predominantly viscous behavior. Increasing HPH pressure markedly reduced the viscoelastic moduli, particularly G′. Overall, HPH effectively modified the steady-shear and viscoelastic behavior of LBG in a pressure-dependent manner. Reducing the application limitations associated with the high viscosity of LBG even at low concentrations may enable its more flexible use and broaden its potential applications in food systems with different viscosity requirements.

Keywords: high-pressure homogenization; locust bean gum; rheology; viscoelastic properties

MEMBRANE PRODUCTION USING CACAO BEAN SHELLS-DERIVED PECTIN

Atacan TEKİN
Gebze Technical University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering
Gebze-Kocaeli, Turkey
a.tekin2021@gtu.edu.tr

Dr. Sedef KAPTAN USUL*

Gebze Technical University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering
Gebze-Kocaeli, Turkey
sedefkaptan@gtu.edu.tr-https://orcid.org/0000-0002-8178-9343

Assoc. Prof. Dr. Ayşe ASLAN Canpolat

Gebze Technical University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering
Gebze-Kocaeli, Turkey
ayseaslan@gtu.edu.tr-https://orcid.org/0000-0001-8904-4074

ABSTRACT

Cacao is one of the most widely produced crops in the world. Although cocoa is a highly valuable agricultural product, most by-products generated during its processing are regarded as waste. One of these wastes, cacao bean shells (CBS), is disposed of via incineration or recycled as fertilizer. However, CBS has strong potential as a biopolymer resource in bioeconomy. Notably, CBS exhibits a high pectin content, making it a promising feedstock for membrane synthesis. Pectin is biocompatible and exhibits gel-forming properties. This project aims to investigate the combination of pectin extracted via a green extraction method with polyvinyl alcohol (PVA) to produce biodegradable membranes. The membranes were characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM), Thermogravimetric Analysis (TGA), and pectin water-uptake behavior. Results showed the characteristic functional groups of pectin and PVA. Moreover, the pectin-PVA membranes exhibited a relatively smooth surface morphology, while FTIR analysis confirmed the incorporation of both components into the polymer matrix. The membranes demonstrated a notable water uptake capacity, while thermal analysis revealed lower thermal stability compared to that of the extracted pectin. Overall, these findings indicate that CBS-derived pectin has the potential to be used as a sustainable raw material for biodegradable membrane production.

Keywords: Cocoa bean shell, Pectin, PVA, Green synthesis, Membrane

1. INTRODUCTION

As industrial manufacturing continues, worldwide waste increases each year [1]. Consequently, many efforts have recently focused on increasing the use of sustainable technologies to minimize waste generation and maximize resource utilization. One notable example is the 'Green Deal', whose goal is to make Europe the first carbon-neutral continent. One initiative the Green Deal promotes is developing new value chains using alternative and underutilized raw materials [2]. In this context, this project aims to transform cacao fruit by-products into high value-added, environmentally friendly products through a circular bioeconomy approach.

Cocoa bean shell waste is generated at approximately 700,000 tons annually. Despite this high volume, valorization of cacao bean shells remains limited compared with other cacao-derived wastes in both academic and industrial settings [3]. Although cacao bean shells hold considerable economic and ecological potential as high-value-added products, they are currently discarded by incineration or used as fertilizer [4]. CBS contains proteins, fats, minerals, phenolic compounds, and dietary fiber [5]. Furthermore, shells contain high amounts of biopolymers such as cellulose, lignin, hemicellulose, and pectin. The pectin content in CBS is reported to be approximately 10% [6].

Pectin is a structural heteropolysaccharide found in the cell walls of plants; it is composed of galacturonic acid monomers [7]. Commercial pectin has many applications. For example, in the food industry, it is used as a thickening agent in jams and marmalades, and its addition as a stabilizer in milk extends the shelf life of dairy products [8]. Furthermore, owing to pectin's gelling properties, it can be incorporated into cream, shampoo, and lotion formulations in the cosmetic sector [9]. The gelling property of pectin is determined by its degree of esterification and methylation of galacturonic acids in the pectin structure. Pectin’s with a high degree of esterification are referred to as high-methoxy pectin, whereas those with a low degree of esterification are classified as low-methoxy pectin [10].

Membranes are semi-permeable barriers [11] widely used in filtration, water treatment, and purification processes [12]. Membrane separation of waste depends on the waste's molecular size and the membrane's morphological and chemical structure. For this reason, detailed characterization of the resulting membrane is essential. Membranes are synthesized from both organic polymers and inorganic materials. Although inorganic membranes are more durable than organic membranes, those produced from organic polymers are more commonly used, as inorganic membranes have a higher production cost [13] and can also pose sustainability challenges. Pectin membranes address this problem owing to their biodegradable and biocompatible properties, offering a low-cost alternative to inorganic membranes. The functional groups in pectin allow pectin membranes to maintain their structural integrity even in the presence of metal ions, making them more advantageous than other biopolymers in membrane fabrication [14].

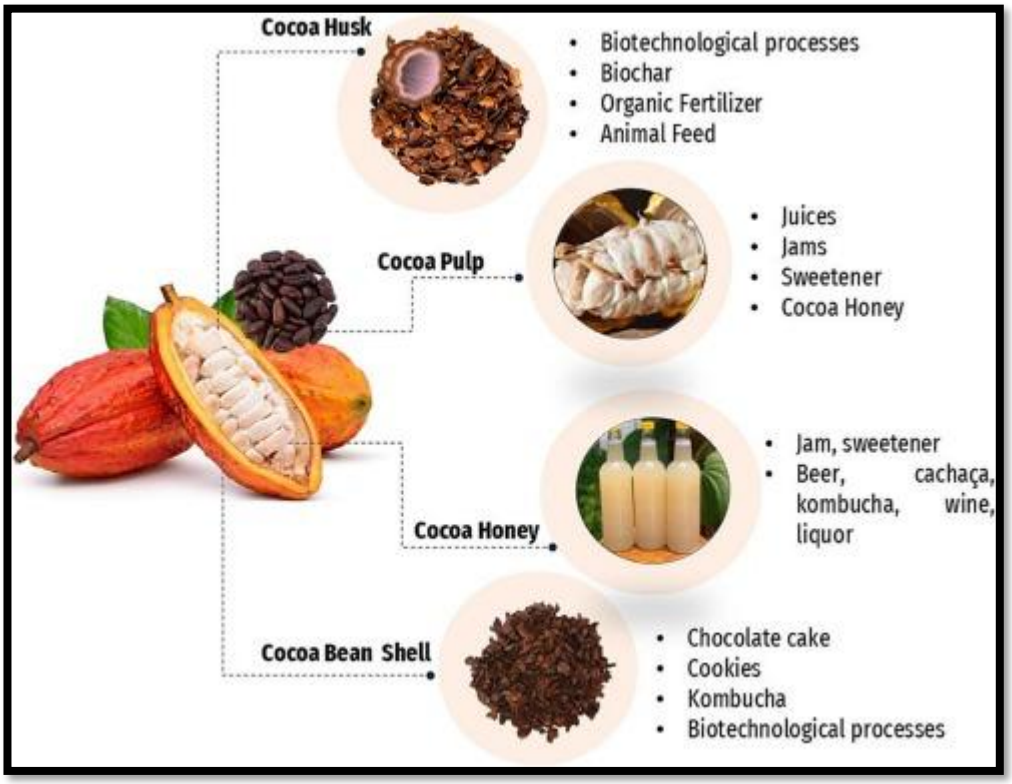


Figure 1. The cocoa bean [15]

Despite their advantages, pectin membranes have disadvantages such as weak chemical resistance, low thermal stability, and swelling [16]. To improve pectin's mechanical strength, this project synthesized a pectin-polyvinyl alcohol (PVA) composite membrane. PVA is a synthetic linear semicrystalline polymer; due to the hydroxyl groups in its structure, it forms strong hydrogen bonds with other polymers, thereby imparting great mechanical integrity and biocompatibility to the resulting material [17]. It is expected that membranes obtained from the combination of these two polymers will exhibit superior performance compared to membranes produced from a single polymer.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

The materials used in this study include roasted cocoa bean shells (Ülker Çikolata Sanayi A.Ş.), sodium hydroxide (CAS 12200-64-5), ethyl alcohol, pure (CAS 64-17-5), polyvinyl alcohol (CAS 9002-89-5), glycerol (CAS 56-81-5), and sulfuric acid (H_2SO_4) (CAS 7664-93-9).

2.2.1 Pectin extraction from powdered cocoa bean shells

In this study, 10 grams of cocoa bean shells were weighed and added to a solution containing 500 mL of distilled water and 25 mL of 1 M NaOH. The solution was heated at 90 °C under constant stirring for 30 minutes to soften the cacao bean shells prior to ultrasonic-assisted

extraction. The solution was subsequently sonicated for 2 hours. During this process, the cell walls of cacao bean shells were disrupted, and pectin dissolved into the alkaline solution, as evidenced by gelation observed in the solution after extraction. The residual unbroken shells were removed by filtration through Whatman No. 1 filter paper. Pectin in the remaining solution was precipitated by the addition of absolute ethanol to half of the resultant solution. The pectin solution was then refrigerated for 24 hours to promote gelation under ethanol's influence. The following day, the solution was divided into separate falcon tubes and centrifuged. The supernatant was filtered through Whatman No. 1 filter paper, and the filtered liquid was centrifuged again at 5500 rpm for 15 minutes and subsequently at 5600 rpm for 10 minutes. Centrifugation facilitated the separation of the pectin gel from the solution. The resulting gels were collected, spread on Teflon plates, and dried at 40 °C overnight [18].

2.2.2 Production of pectin PVA membrane

A total of 0.5 grams of extracted pectin powder was dissolved in 15 mL of distilled water. In a separate beaker, 0.15 grams of PVA was dissolved in 15 mL of distilled water. Both mixtures were stirred continuously at 90–100 °C until fully homogenized. The pectin and PVA solutions were then combined with 0.6 grams of glycerol and 0.3 mL of sulfuric acid to promote crosslinking between PVA and pectin. To form the membrane structure, the combined solution was stirred at 800 rpm at 100 °C for 2 hours. The resulting film-forming solution was subsequently transferred into a Petri dish and left to dry overnight at 40 °C [19].

2.2.3 Determination of Water Uptake Behavior:

A water uptake test was performed to evaluate the swelling behavior of the pectin-PVA membrane. Membranes were cut into square samples measuring 1.5 cm × 1.5 cm. The samples were weighed to determine their dry weights, and the thickness of each sample was measured to calculate its volume. The samples were subsequently immersed in distilled water, and their wet weights were recorded at 1, 5, 10, 20, 40, and 60 minutes. The increase in weight reflects the membrane's swelling capacity. A line plot was constructed using the equation below, which was normalized by volume to account for variations in sample thickness.

$$W.A = mw - md\ V$$

mw: wet mass of the sample after immersion (g)

md: Initial dry mass of the sample (g)

V: Volume of the sample(cm^3) calculated as, V = t x A

Where t is the thickness of the samples, and A is the area of the samples.

3. RESULTS & DISCUSSION

An FTIR spectrometer was used to measure sample spectra in the wavenumber range of 400–4000 cm^{-1}. This region encompasses chemical bonds in both the organic and inorganic components of pectin.

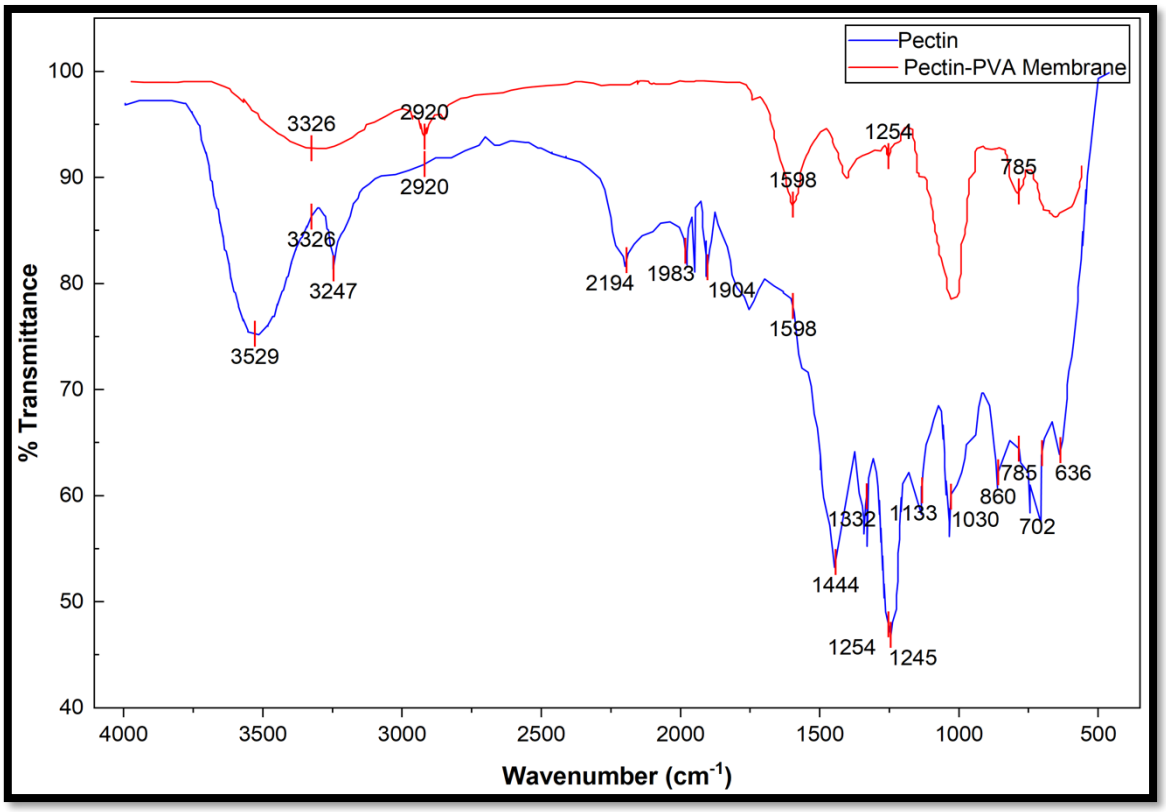


Figure 2. FTIR of pectin, and pectin-PVA membrane

As shown in Figure 2, the FTIR spectra of pectin display characteristic peaks at 1598 cm^{-1} and 1444 cm^{-1}, corresponding to the asymmetric and symmetric stretching vibrations of carboxylate groups, respectively. These results are consistent with the literature [20]. The FTIR spectra of the pectin-PVA membranes show a broad O-H stretching band at 3326 cm^{-1}, associated with both pectin and PVA. Additionally, the peak at 2920 cm^{-1} corresponds to C-H stretching vibrations from PVA. Carboxyl-related bands from pectin remain visible at approximately 1598 cm^{-1}, indicating successful incorporation of pectin into the membrane structure. The slight shifts in the intensity and position of characteristic peaks may reflect intermolecular interactions between pectin and PVA.

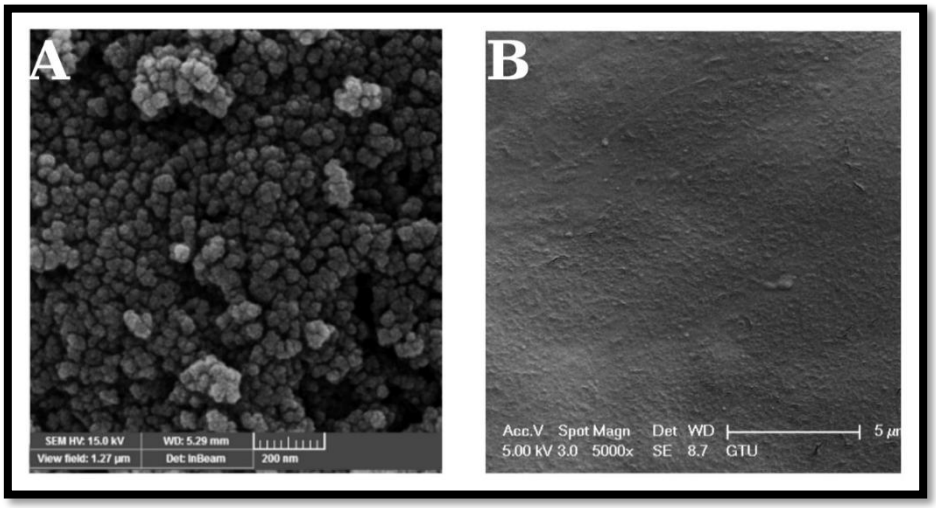


Figure 3. SEM result of A) pectin and B) pectin-PVA membrane

SEM results of pectin (Figure 3) reveal that CBS-derived pectin exhibits a large surface area with a spherical morphology. In contrast, the pectin-PVA membrane displays a smooth and continuous surface. These observations confirm the successful incorporation of pectin into the membrane structure with no evidence of phase separation, indicating that pectin and PVA interact effectively to form a homogeneous membrane structure.

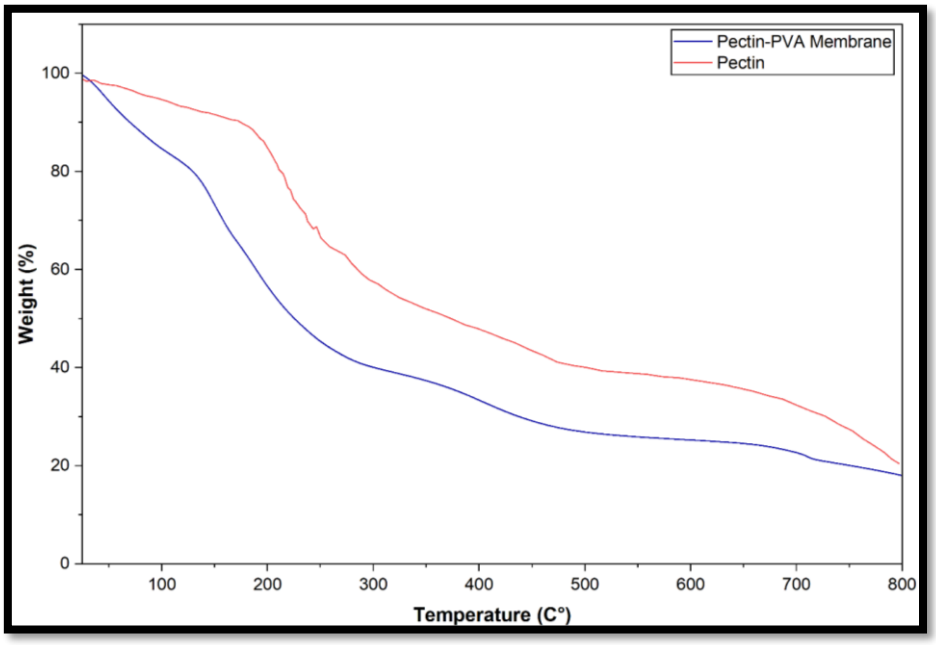


Figure 4. TGA of pectin, pectin-PVA membrane

The TGA results presented in Figure 4 demonstrate the thermal behavior of CBS-derived pectin and the pectin-PVA membrane. The membrane exhibited weight loss at lower temperatures than pure pectin, indicating reduced thermal stability. CBS-derived pectin retained

approximately 75% of its weight at around 240–250 °C, while the membrane experienced approximately 25% weight loss at 140–160 °C. The initial weight loss can be attributed to the evaporation of residual water and other volatile components. The subsequent weight loss is associated with the thermal degradation of the polymeric components. The overall reduced thermal stability of the membrane may result from the incorporation of PVA and other membrane components, which are known to have lower thermal stability than pectin alone.

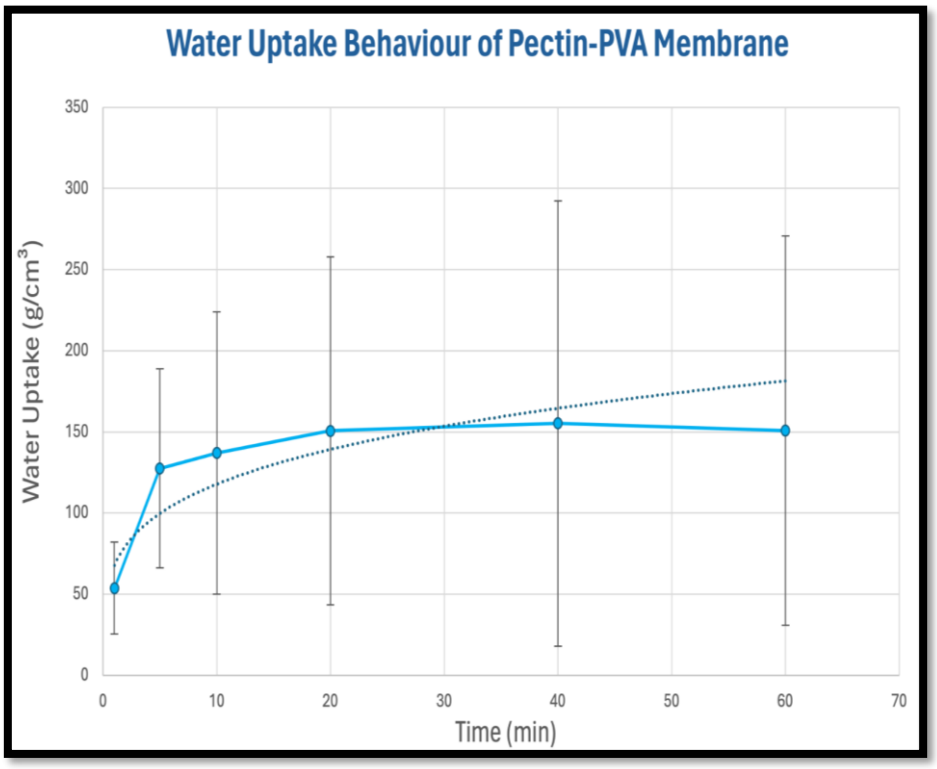


Figure 5. Water Uptake Behavior of the pectin-PVA membrane

The water uptake behavior of the pectin-PVA membrane is closely related to its permeability and structural integrity. As shown in Figure 5, the membrane displayed rapid initial water absorption between 0 and 20 minutes, suggesting rapid diffusion of water molecules into the polymer matrix. Subsequently, membrane swelling gradually stabilized, reaching a maximum water uptake of approximately 150 g/cm³ at 40 minutes. A slight decrease was observed at 60 minutes; however, the error bars suggest that the membrane remained near equilibrium. The observed variability may be attributed to minor heterogeneity in the distribution of pectin and PVA within the polymer matrix, as well as difficulty in removing surface water during weighing. These findings are consistent with the literature, as pectin-based films exhibit high water uptake owing to their hydrophilic hydroxyl and carboxyl groups, which readily absorb water and may compromise structural integrity upon prolonged immersion [21].

4. CONCLUSIONS

In conclusion, a notable feature of this study is its focus on cocoa bean shells as a source of pectin, rather than cocoa pod husk, which has been more commonly investigated in previous

studies. The results demonstrated the potential of cacao bean shell-derived pectin as a sustainable raw material for environmentally friendly membrane production. This work also illustrated how agricultural waste can be reintegrated into the value chain through circular bioeconomy approaches, yielding an eco-friendly membrane with potential applications across various industries.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study were supported by TÜBİTAK 2209-A undergraduate research project funding.

REFERENCES

1. Khanna, M., Zilberman, D., Hochman, G., & Basso, B. (2024). An economic perspective of the circular bioeconomy in the food and agricultural sector. Communications Earth & Environment, 5(1), 507.
2. Paris, B., Michas, D., Intzidi, E., Moraitis, M., Balafoutis, A. T., & Papadakis, G. (2025). A review of the EU bioeconomy: Concepts, current state and the transition to a circular bioeconomy. Open Research Europe, 5, 163.
3. Sotelo-Coronado, L. E., Oviedo-Argumedo, W., & Alvis-Bermúdez, A. (2025). Cacao in the Circular Economy: A Review on Innovations from Its By-Products. Processes, 13(7), 2098.
4. Dos Anjos Lopes, S. M., Martins, M. V., de Souza, V. B., & Tulini, F. L. (2023). Evaluation of the nutritional composition of cocoa bean shell waste (Theobroma cacao) and application in the production of a phenolic-rich iced tea. Journal of Culinary Science & Technology, 21(5), 818-828.
5. Gil-Ramírez, A., Cañas, S., Cobeta, I. M., Rebollo-Hernanz, M., Rodríguez-Rodríguez, P., Benítez, V., ... & Aguilera, Y. (2024). Uncovering cocoa shell as a safe bioactive food ingredient: nutritional and toxicological breakthroughs. Future Foods, 10, 100461.
6. Sanchez, P. D. C., Hashim, N., & Muhammad, D. R. A. (2025). Properties, Uses, and Utilization Methods of Cacao (Theobroma cacao) Bean Shells (CBS): Applications of Emerging Green Extraction Techniques–A Review. Journal of Food Composition and Analysis, 107823.
7. Emran, T. B., Islam, F., Mitra, S., Paul, S., Nath, N., Khan, Z., ... & Guiné, R. P. (2022). Pectin: A bioactive food polysaccharide with cancer preventive potential. Molecules, 27(21), 7405.
8. Toniazzo, T., & Fabi, J. P. (2023). Versatile polysaccharides for application to semi-solid and fluid foods: The pectin case. Fluids, 8(9), 243.

9. Mahdy, S. Z., Amin, A. S., Abouzeid, R., Moustafa, I. M., Youssef, A. M., & El Habbasha, E. S. (2024). Pectin: methods of extraction and biomedical application. Egyptian Journal of Chemistry, 67(4), 461-483.
10. Dang, G., Li, J., Yin, C., Wang, W., Zhang, K., Zhong, R., ... & Schroyen, M. (2024). Deciphering Pectin: A Comprehensive Overview of Its Origins, Processing, and Promising Utility. ACS Omega, 10(1), 1-15.
11. Othman, N. H., Alias, N. H., Fuzil, N. S., Marpani, F., Shahruddin, M. Z., Chew, C. M., ... & Ismail, A. F. (2021). A review on the use of membrane technology systems in developing countries. Membranes, 12(1), 30.
12. Fatima, N., Waheed, H., Raza, A., Mukhtar, A., & Ahmad, F. (2024). A Critical Review on Membrane Technology and Its Application in CO2 Capturing. Chem. Methodol, 8(9), 662-698.
13. Bera, S. P., Godhaniya, M., & Kothari, C. (2022). Emerging and advanced membrane technology for wastewater treatment: A review. Journal of Basic Microbiology, 62(3-4), 245-259.
14. Cabello, S. P., Ochoa, N. A., Takara, E. A., Mollá, S., & Compañ, V. (2017). Influence of Pectin as a green polymer electrolyte on the transport properties of Chitosan-Pectin membranes. Carbohydrate Polymers, 157, 1759-1768.
15. Song, R., Chen, G., Chen, Y., Wang, H., Wang, F., Wang, L., & Lei, J. (2025). Hybrid citrus pectin-based nanofiltration membranes incorporating meso-MIL-100 (Fe) for acid- resistant and efficient dye separation. International Journal of Biological Macromolecules, 148182.
16. Nascimento, M. B., Alencar, J. C., Paulino, B. N., Nascimento, J. C., Ferreira, T. R., Batista, A. S., ... & Mesquita, P. R. (2025). Functional and technological potential of by-products from the cocoa (Theobroma cacao L.) production chain. Food Chemistry, 145718.
17. Hussain, R., Batool, S. A., Aizaz, A., Abbas, M., & Ur Rehman, M. A. (2023). Biodegradable packaging based on poly (vinyl alcohol) and carboxymethyl cellulose films incorporated with ascorbic acid for food packaging applications. ACS Omega, 8(45), 42301- 42310.
18. Mounya, K. S., & Chowdary, A. R. (2024). Optimization of ultrasound-assisted pectin recovery from cocoa by-products using response surface methodology—Journal of the Science of Food and Agriculture.
19. Suhasini, M. R., Rajeshwari, K. M., Bindya, S., Hemavathi, A. B., Prashant, M. V., Raghavendra, G. A., & Sanjay, S. M. (2023). Pectin/PVA and pectin-MgO/PVA films: Preparation, characterization and biodegradation studies. Heliyon, 9(5).
20. antioxidant, and anti-liver cancer properties. Journal of Experimental Nanoscience, 17(1), 326-338.

21. Heba, Y., Guohua, Z., & Hassan, A. (2022). Pectin and Its Applicability in Food Packaging. A Glance at Food Processing Applications.

EFFECT OF MICROPILE NUMBER, SPACING, AND INCLINATION ANGLE ON SOIL IMPROVEMENT: AN EXPERIMENTAL STUDY

Ph.D. Candidate, Rahim Khan Nasery

Fırat University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering, Elazığ, Türkiye

rahim.k.nasery@gmail.com - 0000-0001-8835-4783

Assoc. Prof. Dr. Mesut GÖR

Fırat University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Elazığ, Türkiye
mgor@firat.edu.tr - 0000-0002-5463-9278

ABSTRACT

Turkey's location along active fault lines, together with growing population and increasing urbanization, has significantly increased the need to strengthen existing structures against earthquake effects and additional loads. Various methods are currently used for strengthening existing structures; among these, micropiles have emerged as an advantageous ground improvement method, particularly for historical and sensitive structures, due to their low vibration and noise levels and minimal ground disturbance during installation. First developed in 1952, micropiles, which are predominantly composed of steel elements, are widely used in applications such as soil improvement, foundation strengthening and increasing bearing capacity. Considering the predominantly steel composition of micropiles and the associated application costs, determining the optimum number of piles, pile spacing, pile length, and installation angle is important for safe and economical design. Therefore, investigating the effects of these parameters on bearing capacity and settlement is necessary. The objective of this study was to investigate the effects of the number, spacing and inclination angle of micropiles installed along two opposite edges of a foundation on the soil's bearing capacity and settlement values, thereby enabling the development of more economical designs. A total of seven experiments were conducted as part of this study, and the results were compared with one another. Vertical loading experiments were conducted using 4 × 4 and 6 × 6 combinations of micropiles installed at inclination angles of 30°, 45°, and 60° and placed at a distance of 4.5 cm from the two opposite edges of a foundation, on a soil bed with a relative density of Dr = 65%. The experimental results showed that a reduction in pile spacing, combined with an increase in the number of micropiles and inclination angle of the micropiles, led to an increase in bearing capacity. Under the same conditions, it was also observed that settlement values decreased at a given load.[2]

Keywords: Micropiles, micropile spacing, micropile length, settlement, bearing capacity, inclined micropiles.

[2] This study was carried out as part of the doctoral thesis entitled "Experimental and Numerical Investigation of Soil Improvement Applications Using Micropiles Installed Around Existing Structures" and was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) under Project No. 125M863. The authors gratefully acknowledge TÜBİTAK for its financial support.

1. INTRODUCTION

Turkey's location along active fault lines makes it highly susceptible to ground deformation during earthquakes. These ground deformations can lead to increased internal forces in structures and cause structural damage. Demolishing damaged structures is not always the most appropriate solution; instead, structures can be made safer through ground improvement measures, in conjunction with the necessary structural assessments. With advances in technology, the variety of ground improvement methods, equipment, and materials has increased; consequently, the importance of cost-effective design has increased. One of the ground improvement methods available is the use of micropiles, which are widely preferred due to their advantages in terms of low cost, ease of installation, and the ability to utilize them in confined spaces. Micropiles, which can be made of various materials, primarily concrete and steel, can be used in limited urban spaces and areas where other types of piles cannot be installed due to their small diameter. Additionally, because they produce lower levels of vibration, less noise, and minimal ground disturbance, they can be installed without causing damage to existing structures [1]. Micropiles, which were originally developed by Fernando Lizzi in Italy in 1952, are used in many applications, such as supporting existing structures, reducing settlement, reinforcing historic structures, and increasing bearing capacity under various soil conditions [2]. Numerous experimental and numerical studies have been conducted to investigate the behavior of micropiles; as a result, codes have been developed in different countries, and various design methods and empirical formulations have been established [3,4]. Micropiles are an effective and widely used soil improvement method, particularly for reinforcing historic structures with sensitive foundation systems. Their applicability in confined spaces, along with their low vibration levels and minimal soil disturbance, provides significant advantages in structures where other methods pose risks to structural safety (Alnuaim et al., 2016). First applied in Italy by Fernando Lizzi in the 1950s, the method later became widespread in many countries—particularly in Europe and the Americas—for reinforcing historic monuments such as churches, temples, bridges, and other structures [5–7]. Due to population growth and urbanization, practices such as expanding existing structures or adding stories have gained importance. However, this situation can impose additional loads on existing foundations, leading to bearing capacity issues and settlement risks [8]. For this reason, soil improvement measures have become necessary to ensure structural safety. Micropiles are used as an effective solution in many applications, such as foundation reinforcement, slope stabilization, preservation of historic structures, and strengthening piled foundations [9, 10]. Research on the use of micropiles in soil improvement projects continues to date [11–16]. Studies in the literature show that micropiles are effective in increasing bearing capacity and reducing settlement. Bruce et al. noted that micropiles can be effectively used to reinforce existing foundations and increase bearing capacity [17]. Jeon and Kulhawy, on the other hand, have demonstrated that increasing the injection pressure, along with the pile diameter and length, enhances bearing capacity [18]. Additionally, in their numerical study, Murthy et al. have shown that reducing the micropile inclination results in an approximately 30–45% increase in foundation bearing capacity [19]. In their field tests on a raft foundation reinforced with micropiles, Han and Ye determined that approximately 70–86% of the applied load was carried by the micropiles [20]. Tsukada et al., on the other hand, demonstrated that the bearing

capacity of raft foundations reinforced with groups of micropiles with different stiffnesses reached approximately twice that of an unreinforced foundation [21]. In addition, by investigating the behavior of micropiles under axial and lateral loads, Thomson et al. demonstrated that the FHWA design principles are consistent with field test results [22]. Bhattacharjee et al. determined that increases in the length and diameter of micropiles, along with a decrease in the distance between the micropiles and the foundation edge, significantly increase the bearing capacity [23]. Elsaied, in his experiments on sloped sandy soils, demonstrated that increasing the length of micropiles significantly improves both the bearing capacity and slope stability, and that the bearing capacity of micropile-reinforced foundations is approximately 7–9 times higher than that of a foundation without micropiles [24]. Based on PLAXIS 2D analyses for the reinforcement of the Kolkata High Court building, Mittal and Babu demonstrated that the use of micropiles increases bearing capacity, reduces settlement, and improves structural safety [25]. Sharma et al., on the other hand, noted that the length-to-diameter ratio, pile spacing, and relative density of the sand have significant effects on the bearing capacity in micropile groups [26]. Azzam and Basha [27] showed that the use of micropiles increased the ultimate bearing capacity of a raft foundation by approximately 260% while reducing settlement by 45%. Shah et al., on the other hand, demonstrated that the use of micropiles in fly ash-reinforced soils can increase the bearing capacity by up to 340% [28]. Furthermore, several studies have demonstrated that micropiles are effective in increasing bearing capacity and improving soil stability under various geotechnical conditions and in different applications, including soft clay, sandy soils, slopes, tunnels, and mountainous regions [29–34].

In this study, the effect of the number, spacing and inclination angle of micropiles on bearing capacity and settlement values was experimentally investigated by placing micropiles in different configurations along two opposite edges of the foundation. The results showed that the bearing capacity increased as the pile spacing decreased and the number and inclination angle of micropiles increased, while settlement decreased at a given load value.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, a sand bed with a relative density of Dr = 65% was subjected to vertical loading using micropile configurations with inclination angles of 30°, 45°, and 60°. These test configurations included a model foundation without micropiles and model foundations reinforced with 4 × 4 and 6 × 6 micropile combinations, with the micropiles installed along two opposite edges of the foundation. Therefore, the effect of these different configurations on bearing capacity and settlement values was experimentally investigated.

3. EXPERIMENTAL STUDIES

Sand used in the experiments was poured into a vertical bucket elevator that transported it to the hopper above the test tank, and then was manually discharged into the test tank in successive layers using a flexible plastic hose from a height of 10–13 cm. Every layer laid down initially was approximately 11–12 cm thick, and this thickness was reduced to approximately 10 cm after the compaction, resulting in a sand bed inside the test tank with a total height of 90 cm. In

order to achieve a relative density of Dr=%65, the entire surface of each sand layer was compacted using a vibration device for 3 seconds. The selected relative density and vibration duration were determined and verified through preliminary tests. Following compaction, the upper surface of the sand bed was carefully leveled with a spirit level. Subsequently, the model foundation was placed in the center of the test tank and leveled properly. Guides were used to ensure that the micropiles placed around the foundation were aligned and positioned at an equal distance from the edge of the foundation. The distance between the edge of the foundation and the center of the circular holes drilled in the guide was set to 4.5 cm (Malik et al., 2021). Additionally, guide caps with a height of 10 cm and purpose-built driving tools were used to ensure a consistent spacing between the micropiles and to make sure they were installed in the specified configurations (4 × 4 and 6 × 6) and at the required 60° angle. The experiments were carried out on a soil profile prepared at a relative density of Dr = 65%. Initially, vertical loading tests were conducted on the unreinforced model foundation to determine the bearing capacity and settlement. The subsequent tests were carried out with micropiles installed at inclination angles of 30°, 45°, and 60° along two opposite edges of the foundation. Different numbers of pile, pile inclination angles, and pile spacings were considered, with pile spacings of S = 5.0 cm and S = 3.0 cm. Once the required micropile configuration had been established, two linear displacement transducers (LVDTs) were placed at opposite diagonal corners of the model foundation to measure its vertical displacement. Prior to every test, the initial settlement and load values were reset to zero in the data logging program. Thereafter, vertical load was applied to the model foundation, and the load-settlement data were recorded. The loading test was stopped when the foundation settlement reached 35 mm. The experimental setups employed in this study are presented in Figure 1.



Figure 1. Experimental models

4. EXPERIMENTAL RESULTS

A total of seven vertical loading tests were carried out using a sand bed prepared at a relative density of Dr = 65%, for both the unreinforced model foundation (unpiled model) and the model foundations reinforced with 4 × 4 and 6 × 6 micropile configurations with micropiles installed at three different inclination angles (30°, 45° and 60°), at a distance of 4.5 cm from the two opposite edges of the model foundation. The vertical loading tests were terminated when the model foundation settled by 35 mm. The results of the vertical loading tests were used to investigate the effects of pile number, pile spacing, the inclination angle of the micropiles, and different pile configurations on soil reinforcement, foundation bearing capacity, and settlement values. Load–settlement curves obtained from the experimental study for 4 × 4 and 6 × 6 pile combinations are presented in Figure 2 and 3. The bearing capacity values determined from the vertical loading tests are presented in Table 1, while the bearing capacity values at a settlement of 10 mm are shown in Table 2, and the settlement values under a specific load value (8 kN) are also provided in Table 3. The test results showed that the bearing capacity increased as the pile spacing decreased and the number of piles and the inclination angle of the micropiles increased, while the settlement values decreased under a specific load.

.

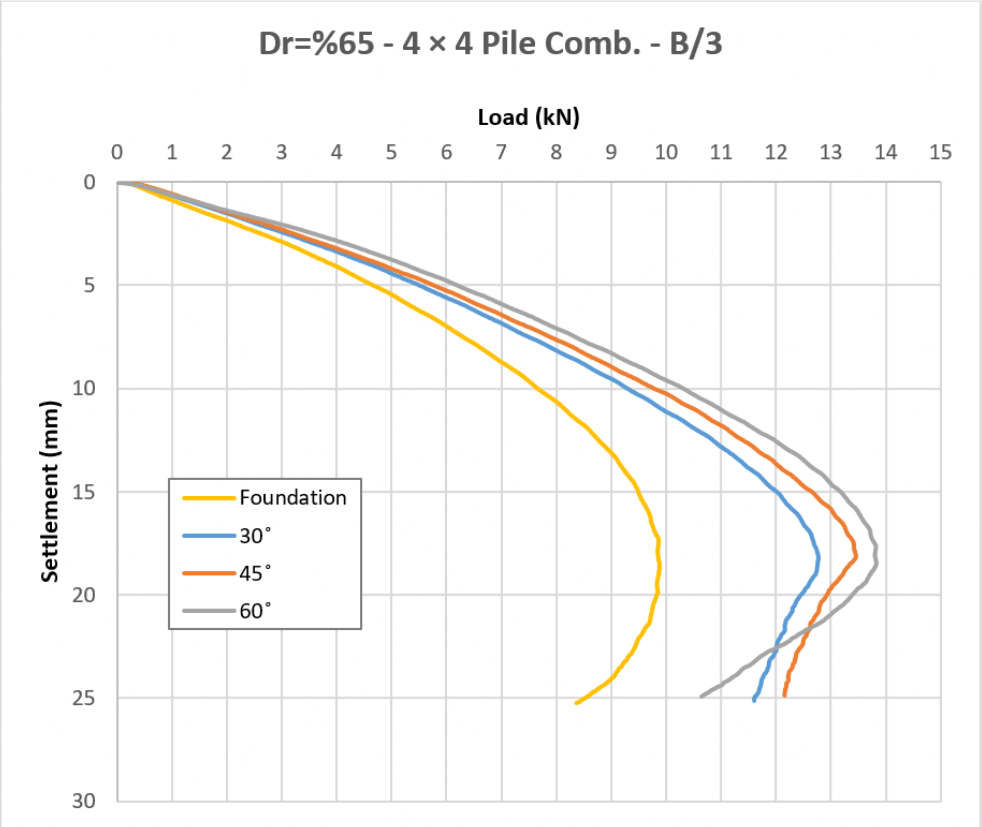


Figure 2. Load–settlement curves for 4 × 4 pile combination

.

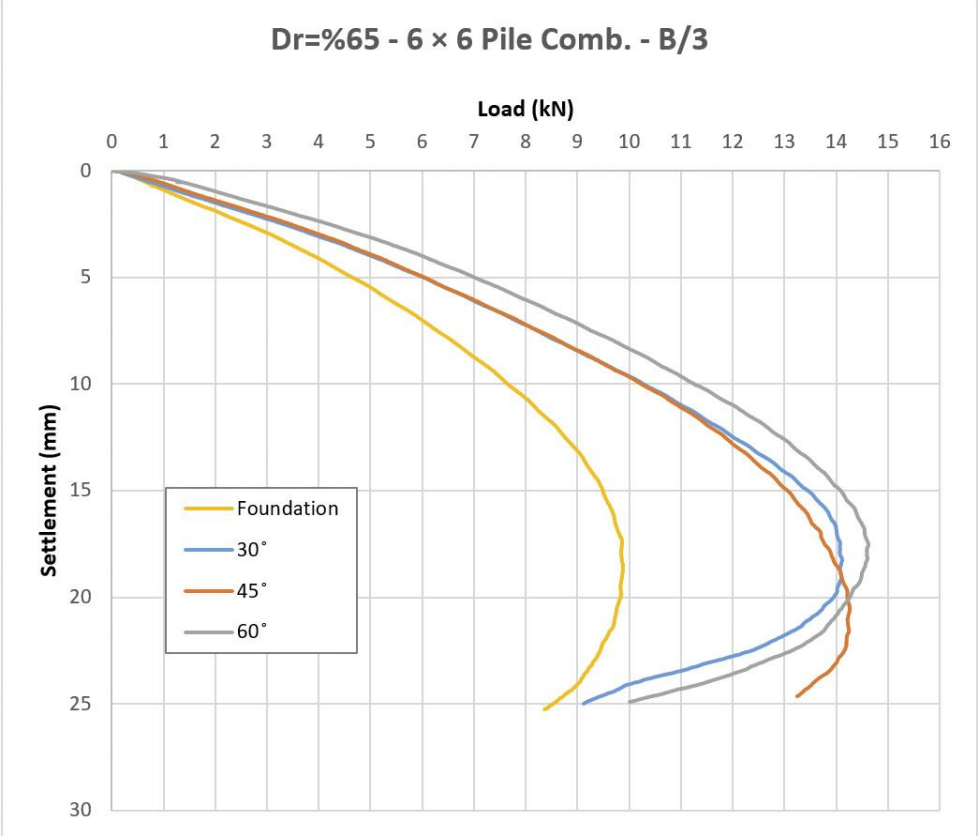


Figure 3. Load–settlement curves for 6 × 6 pile combination

Table 1. Bearing capacity for different pile combinations (kN)

Micropile Combinations	B/3		
	30°	45°	60°
Model Foundation	9,86	9,86	9,86
4 × 4	13,00	13,45	13,83
6 × 6	14,11	14,26	14,63

Table 2. Bearing capacity at a settlement value of 10 mm (kN)

Micropile Combinations	B/3		
	30°	45°	60°
Model Foundation	7,65	7,65	7,65
4 × 4	9,29	9,76	10,31
6 × 6	10,28	10,22	11,25

Table 3. Settlement values at a load value of 8 kN (mm)

Micropile Combinations	B/3		
	30°	45°	60°
Model Foundation	10,67	10,67	10,67
4 × 4	8,17	7,66	7,09
6 × 6	7,23	7,21	6,05

5. CONCLUSION AND DISCUSSION

The experimental results demonstrated that increasing the number of micropiles led to higher bearing capacity. At an inclination angle of 30°, the bearing capacity increased by 3.14 kN for the 4 × 4 configuration and by 4.25 kN for the 6 × 6 configuration relative to the reference condition (foundation without micropiles). For the 45° configurations, increases of 3.59 kN and 4.40 kN were recorded for the 4 × 4 and 6 × 6 arrangements, respectively. Likewise, at an inclination angle of 60°, the bearing capacity increased by 3.97 kN for the 4 × 4 configuration and by 4.77 kN for the 6 × 6 configuration compared with the reference condition.

The experimental results indicated that the unpiled model foundation had a bearing capacity of 9.86 kN. With the installation of micropiles at an inclination angle of 30°, the bearing capacity increased to 13.00 kN for the 4 × 4 configuration and 14.11 kN for the 6 × 6 configuration. At 45°, bearing capacities of 13.45 kN and 14.26 kN were obtained for the 4 × 4 and 6 × 6 configurations, respectively. Similarly, the corresponding values for the 60° configurations were 13.83 kN and 14.63 kN for the 4 × 4 and 6 × 6 configurations, respectively. Overall, the 4 × 4 configurations provided approximately 32–40% higher bearing capacity, while the 6 × 6 configurations resulted in approximately 43–48% higher bearing capacity compared with the unpiled model foundation.

When considering the inclination angle of the micropiles, increasing the inclination angle had only a minimal effect on the bearing capacity. In the 4 × 4 micropile configurations, when the inclination angle increased from 30° to 45°, the bearing capacity increased by approximately 3%, while increasing the angle from 30° to 60° resulted in an increase of approximately 6%. Similarly, in the 6 × 6 micropile configurations, increasing the inclination angle from 30° to 45° resulted in an increase in bearing capacity of approximately 1%, while increasing the angle from 30° to 60° resulted in an increase of approximately 4%.

For a given settlement value, the bearing capacity increased with decreasing micropile spacing, increasing micropile number, and increasing micropile inclination angle.

At a given load level, a significant reduction in settlement was observed with decreasing micropile spacing and increasing micropile number. Accordingly, for different numbers of micropiles, the 4 × 4 micropile configurations resulted in approximately 31–51% lower settlement, whereas the 6 × 6 micropile configurations resulted in approximately 48–76% lower settlement compared with the unpiled model foundation. The inclination angle had a less pronounced effect on settlement reduction compared with micropile spacing and micropile

number. For the 4 × 4 configurations, increasing the inclination angle from 30° to 45° resulted in an approximately 7% reduction in settlement, while increasing it from 30° to 60° resulted in an approximately 15% reduction. For the 6 × 6 configurations, increasing the inclination angle from 30° to 45° resulted in an approximately 0.3% reduction in settlement, whereas increasing it from 30° to 60° resulted in an approximately 20% reduction.

The results showed that the use of micropiles for soil improvement effectively increased bearing capacity and reduced settlement.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was carried out as part of the doctoral thesis entitled “Experimental and Numerical Investigation of Soil Improvement Applications Using Micropiles Installed Around Existing Structures” and was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) under Project No. 125M863. The authors gratefully acknowledge TÜBİTAK for its financial support.

REFERENCES

1. Ma, L., Hu, Y., Gu, D. & Jiang, C., Characteristics and Application of Micropiles in Slope Engineering. in Proceedings of China-Europe Conference on Geotechnical Engineering (eds. Wu, W. & Yu, H.-S.) 1504–1507 Springer International Publishing,. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97115-5_133, 2018.

2. Sun, S., Wang, J., Bian, X., Design of micropiles to increase earth slopes stability. J. Cent. South Univ. 20, 1361–1367, 2013.

3. FHWA, *Micropile Design and Construction Guidelines, Implementation Manual*, National Highway Institute, 2005.

4. IBC. *International Building Code* [ICC, IBC]. Country Club Hills, IL: International Code Council, Inc, 2009.

5. Lizzi, F., The Static Restoration of Monuments: Basic Criteria, Case Histories: Strengthening of Buildings Damaged by Earthquakes; Sagep: Genova, Italy; p. 146, 1982.

6. Lizzi, F., The Pali Radice (Micropiles) for the preservation of monuments and historic sites. İn Geotechnical engineering for the preservation of monuments and historic sites 463469.https://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=6241737, 1997.

7. Kershaw, K.A., Micropile response to combined loading. Missouri University of Science and Technology, 2011.

8. Laefer, D.F., Quantitative support for a qualitative foundation reuse assessment tool. In Proceedings of the Geo-Frontiers: Advances in Geotechnical Engineering, Dallas, TX, USA, 13–16 March 2011; pp. 113–121, 2011.

9. Mohamed, H. E., Shahien, M. M., Nasr, A. M., Farouk, A., Soil Improvement with Micropiles: A Case Study of Fully Loaded Container Rafts at Dekheila Port, Alexandria. Volume 12, article number 295. https://doi.org/10.1007/s40515-025-00742-1, 2025.

10. Van der Stoel, A.E.C., Grouting for Pile Foundation Improvement; Delft University Press: Delft, The Netherlands, 2001.

11. Elsawwaf, A., Sawwaf, M. E., Naggar, H. E., Upgrading the capacity of foundations by using a hybrid expanded footing–micropile system, Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Ground Improvement, https://doi.org/10.1680/jgrim.23.00047, 2024,

12. El-Gendy, M., Data-driven prediction of micro-piled raft load–settlement using machine learning and Monte Carlo simulation. Sci Rep 16, 16180, https://doi.org/10.1038/s41598-026-54119-6, 2026.

13. Hanna, A. and Nabizadeh, F., Performance of Micropiled-Raft Foundations in Sand. Geotechnics, 4(4), 1065-1080, https://doi.org/10.3390/geotechnics4040054, 2024.

14. John, M. J. And Khan, M. R., Mitigation of vibrations and differential settlements at railway bridge transition zones using micropiles. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F Journal of Rail and Rapid Transit. https://doi.org/10.1177/09544097261432442, 2026.

15. Shalaby, W. H., Saad, E. M., Eldin, M. M., Ali, M. M., Bearing Capacity Improvement of Shallow Foundations Strengthened by Open Ended Pipe Micropiles. Indian Geotech J. https://doi.org/10.1007/s40098-026-01522-5, 2026.

16. Almajed, A., Kotwal, E., Al-Salloum, Y., Abbas, H., A Sustainable Hybrid Approach to Improve Footing Bearing Capacity Using EICP and Inclined Micropiles. Buildings 2025, 15(16), 2915; https://doi.org/10.3390/buildings15162915, 2025.

17. Bruce, D. A., Dimıllıo, A. F., Juran D. I., Micropiles: The State of Practice, Part 1: Characteristics, definitions and classifications. Ground Improvement, 1, ss. 25–35, 1997.

18. Jeon, S. S. ve Kulhawy, F. H., Evaluation of Axial Compression Behaviour of Micropiles, In Proceedings of a specialty conference: Foundations and Ground Improvement (GSP 113) (pp. 460-471). Blacksburg, Virginia: ASCE, 2001.

19. Murthy, B. R. S. Babu, G. L., S. Srinivas, A., Analysis of bearing capacity improvement using micropiles, Ground Improvement 6, No. 3, 121–128, 2002.

20. Han, J. ve Ye, S., A Field Study on the Behaviour of a Foundation Underpinned by Micropiles, Canadian Geotechnical Journal, 43(1): 30-42, 2006.

21. Tsukada, Y., Miura, K., Tsubokawa, Y., Otani, Y., You, G.L., Mechanism of Bearing Capacity of Spread Footings Reinforced With Micropiles, Soils and Foundations, 46(3): 367-376, 2006.

22. Thomson, P., Leew, B., Zakeri, A., Becker, D., Bunce, C., Dittrich, P., Axial Compression, Axial Tension and Lateral Load Response of Pre-Production Micropiles for the CPR Mile 62.4 Nipigon Subdivision Bridge, In Proceedings of the 8th International Workshop on Micropiles (IWM), Toronto, ON, Canada: IWM, 2007.

23. Bhattacharjee, A. Mittal, S., Krishna, A. M., Bearing capacity improvement of square footing by micropiles, International Journal of Geotechnical Engineering 5: 113-118; https://doi.org/10.3328/IJGE.2011.05.01.113-118, 2011.

24. Elsaied, A. E., Performance of footing with single side micro-piles adjacent to slopes, Alexandria Engineering Journal, 53, 903–910, 2014.

25. Mittal, S. ve Babu, S., Retrofitting of N–W Corner of Kolkata High Court Heritage Building Through Micropiles and Grouting, Geotechnics for Natural and Engineered Sustainable Technologies, pp 329–339; https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-7721-0_19, 2018.

26. Sharma, b. Sarkar, S., Hussain, Z., A Study of Parameters Influencing Efficiency of Micropile Groups, Ground Improvement Techniques and Geosynthetics, Springer Nature Singapore; https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-0559-7_2, 2019.

27. Azzam, W. R. ve Basha, A.M., Utilization of micro-piles for improving the sub-grade under the existing strip foundation: experimental and numerical study, Innovative Infrastructure Solutions, 3:44; https://doi.org/10.1007/s41062-018-0149-0, 2018.

28. Shah, I. A. Ali, K., Farooqi, M. A., A Numerical Study on the Bearing Capacity of Fly-Ash Reinforced with Fine Micropiles, International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, 7:4; https://link.springer.com/article/10.1007/s40891-020-00245-8, 2021.

29. Borthakur, N. ve Dey. A. K., Experimental Investigation on Load Carrying Capacity of Micropiles in Soft Clay, Arabian Journal for Science and Engineering, volume 43, pages1969–1981; https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-017-2894-3, 2017.

30. Alnuaim, A. M., El Naggar, M.H., El Naggar, H., Numerical investigation of the performance of micropiled rafts in sand. Comput. Geotech. 77, 91–105, 2016.

31. Alnuaim, A. M. Naggar, M. H., Naggar, H. E., Performance of micropiled rafts in clay: Numerical investigation, Computers and Geotechnics, 99, 42–54; https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2018.02.020, 2018.

32. Vakili, A. H., Khajeh, A., Shalchian, M.M., Tajari, R., Experimental analysis of parameters affecting the lateral resistance of micropile groups embedded in sandy soil. Results in Engineering, Volume 27, 105663. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105663, 2025.

33. Nasery, R. K., *Zemin Güçlendirmesinde Mikro Kazıkların Etkisinin Deneysel ve Nümerik Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2024.

34. Martinez-liron, V., Pellicer-Martinez, F., Hernandez-Diaz, A. M., Toward efficient foundation reinforcement: introducing the hat direct connection method for efficient micropile underpinning systems. Structures, Volume 77, 109203. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109203, 2025.

DERİ ENDÜSTRİSİNDE ÜRETİM SÜREÇLERİNİN YAPISAL HASSASİYETİ VE DAYANIKLILIĞI

Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu

her@nku.edu.tr - ORCID: 0000-0003-2125-7406

Öğr. Gör. ERTAN EROL

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu

eerol@nku.edu.tr - ORCID: 0000-0002-2595-9387

ÖZET

Deri endüstrisi; hayvansal üretime bağlı hammadde yapısı, yoğun su ve kimyasal kullanımı, çevresel düzenlemeler ve küresel değer zincirlerine bağımlılığı nedeniyle çok boyutlu yapısal hassasiyetler taşımaktadır. Bu çalışma, deri endüstrisinde üretim süreçlerini kırılgan hâle getiren temel unsurları belirlemek ve bu hassasiyetlere karşı geliştirilebilecek dayanıklılık yaklaşımlarını sürdürülebilirlik çerçevesinde değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Çalışma, ulusal ve uluslararası literatüre dayalı kavramsal bir inceleme niteliğindedir. İncelemede hammadde arzındaki dalgalanmalar, çevresel ve düzenleyici baskılar, ekonomik belirsizlikler, tedarik zinciri bağımlılıkları ve kurumsal kapasite sınırlılıkları başlıca yapısal hassasiyet alanları olarak ele alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler, yalnızca kısa vadeli ve tepkisel uygulamaların sektörün uzun dönemli direnç kapasitesini güçlendirmede yetersiz kaldığını göstermektedir. Buna karşılık sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, kaynak verimliliği, temiz üretim, dijitalleşme, izlenebilirlik ve döngüsel ekonomi uygulamalarının üretim sistemlerinin uyum ve esneklik kapasitesini geliştirebilecek temel araçlar olduğu görülmektedir. Türkiye deri endüstrisi açısından ise ham deri arzının güvence altına alınması, çevresel mevzuata uyumun desteklenmesi, teknolojik dönüşümün hızlandırılması ve nitelikli insan kaynağının geliştirilmesi öncelikli alanlar olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, deri endüstrisinde yapısal hassasiyetlerin azaltılması; çevresel, ekonomik ve kurumsal boyutların birlikte ele alındığı bütüncül bir dayanıklılık ve sürdürülebilirlik yaklaşımını gerekli kılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deri endüstrisi, yapısal hassasiyet, dayanıklılık, sürdürülebilirlik, üretim süreçleri.

1. GİRİŞ

Deri endüstrisi; hayvancılık sektörüne endeksli hammadde mimarisi, kaynak yoğun (su ve kimyasal) üretim safhaları ve küresel ölçekli ekolojik, iktisadi ve kurumsal tazyiklere açık yapısıyla nev-i şahsına münhasır bir sanayi kolu olarak tebarüz etmektedir. Ham derinin gıda endüstrisinin bir türevi mahiyetinde olması, deri sanayisini doğrudan tarımsal üretim projeksiyonlarına ve gıda piyasalarındaki dalgalanmalara eksojen bir biçimde bağımlı kılmaktadır. Söz konusu bağımlılık ilişkisi; üretim sürekliliği, maliyet yönetimi ve kalite standartları düzleminde sektörde belirgin bir yapısal hassasiyet alanı teşkil etmektedir (Er, 2018; Brugnoli, 2017).

Son dönemde çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliğiyle mücadele politikaları ve döngüsel ekonomi paradigmalarının küresel düzeyde ivme kazanması, deri imalat süreçlerini çok daha girift bir yapıya sevk etmiştir. Sektörde çevresel hassasiyetin en yoğun hissedildiği evreler; su tüketimi, kimyasal yönetimi ve atık bertarafı gibi operasyonel yüklerin kümelendiği erken üretim aşamalarıdır (Navarro ve diğ., 2020; Omoloso ve diğ., 2021). Bununla birlikte, güncel konjonktürde sadece teknik modifikasyonlar yeterli gelmemekte; "net-sıfır" emisyon vizyonu ve sertleşen regülasyonlar, imalatçıları stratejik ve yönetsel düzeyde kapsamlı bir adaptasyon sürecine mecbur bırakmaktadır (Khan ve diğ., 2023).

Bu düzlemde yapısal hassasiyet kavramı; deri endüstrisindeki üretim döngülerinin çok katmanlı bağımlılıklarını ve bu bağımlılıkların tetiklediği kırılma risklerini analiz etmek adına işlevsel bir kuramsal çerçeve sunmaktadır. Yapısal hassasiyet, üretim sistemlerinin belirli girdilere ve normatif koşullara olan yüksek duyarlılığını ifade ederken; bu duyarlılığın kriz veya politika değişimleri esnasında operasyonel akışı nasıl etkilediğini de kristalleştirmektedir (Brugnoli, 2017; Tsega ve diğ., 2022). Sektörün küresel üretim ağlarıyla olan derin entegrasyonu, mevcut kırılganlıkların yerel sınırları aşarak global bir boyutta karşılık bulmasına sebebiyet vermektedir (De Marchi & Di Maria, 2019).

Akademik literatür tetkik edildiğinde, deri endüstrisine dair çalışmaların ekseriyetle çevresel etkiler, sürdürülebilir üretim pratikleri ve rekabetçilik ekseninde kümelendiği görülmektedir (Omoloso ve diğ., 2021; Irjayanti & Azis, 2021). Buna karşın mevcut yazın; imalat süreçlerindeki yapısal hassasiyet odaklarını ve bu odaklara yönelik geliştirilen adaptif kapasite stratejilerini bütüncül bir teorik şablona oturtmakta sınırlı kalmaktadır. Özellikle hammadde arz bağımlılığı, regülasyon baskıları ve küresel ağ ilişkilerinin operasyonel süreçlerde tetiklediği yapısal asimetriler; bilimsel çalışmalarda genellikle eklektik ve tasvir düzeyinde tartışılmaktadır.

Elinizdeki bu çalışma, literatürdeki söz konusu kuramsal boşluğu doldurmak amacıyla kurgulanmış olup; deri endüstrisindeki üretim dinamiklerinin hassas noktaları ile bu süreçlerin mukavemetini artırmaya yönelik stratejileri eş zamanlı değerlendiren kavramsal bir perspektif sunmaktadır. Araştırmanın temel gayesi, deri imalatını hassas kılan yapısal faktörleri sistematik bir biçimde ortaya koymak ve bu faktörlere karşı geliştirilen adaptasyon, esneklik ve dayanıklılık yaklaşımlarını analiz etmektir. Bu kapsamda çalışma; hammadde arz yapısı, düzenleyici baskılar, küresel değer zinciri hiyerarşileri ve sürdürülebilir üretim stratejileri ekseninde yapılandırılmıştır.

Bu yönüyle çalışma; deri sektörünü yalnızca teknik veya iktisadi bir imalat faaliyeti olarak görmeyip; aksine girift bağımlılıklar ve adaptasyon mekanizmalarıyla şekillenen bütüncül bir endüstriyel sistem olarak tanımlamayı hedeflemektedir.

2. DERİ ENDÜSTRİSİNDE ÜRETİM SÜREÇLERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Hayvansal menşeli bir hammaddenin endüstriyel çıktılara dönüştürülme süreci, deri sektörünü geleneksel imalat kollarından ayıran çok boyutlu bir nitelik arz etmektedir. İmalat safhaları; tarımsal çıktılar, ileri kimyasal işleme teknikleri, çevresel mevzuat yükümlülükleri ve küresel değer zinciri dinamiklerinin kesiştiği bir düzlemde ilerlemektedir. Bu karmaşık yapı, üretim süreçlerinin yalnızca teknik veriler ışığında değil, aynı zamanda yapısal ve kurumsal

bileşenlerle bütünleşik bir biçimde analiz edilmesini zorunlu kılmaktadır (Brugnoli, 2017; Omoloso ve diğ., 2021).

2.1. Ham Deriden Nihai Ürüne Üretim Zinciri

Deri imalat döngüsü, ham derinin tedarikiyle başlayan ve nihai deri mamullerinin elde edilmesine kadar uzanan çok aşamalı bir değer zincirini kapsamaktadır. Bu silsile; ön işleme (ıslatma-kireçleme), tabaklama, yeniden tabaklama, boyama ve bitim (finisaj) işlemlerinden meydana gelmektedir. Söz konusu gereksinimler, imalat evrelerini hem çevresel sürdürülebilirlik kriterleri hem de operasyonel maliyet yönetimi bakımından yüksek derecede duyarlı bir konuma taşımaktadır (Navarro ve diğ., 2020).

Üretim zincirinin başlangıç safhaları, özellikle hammaddenin biyolojik stabilizasyonu ve korunması açısından hayati bir öneme sahiptir. Bu aşamalarda yaşanacak operasyonel gecikmeler veya teknik aksaklıklar, sonraki basamaklarda telafisi imkânsız nitelik kayıplarına sebebiyet verebilmektedir. Dolayısıyla deri üretim zinciri, doğrusal bir akıştan ziyade, birbirine sıkı sıkıya bağlı ve zincirleme etkilere açık bir sistemik yapı sergilemektedir (Er, 2018). Bu bağlamda, tedarik veya işlem aşamalarındaki herhangi bir duraksama, toplam sistem performansını doğrudan sarsabilmektedir.

2.2. Hayvancılık Temelli Hammadde Yapısı ve Bağımlılıklar

Sektörün başat girdisi olan ham deri, gıda sanayisinin bir türevi mahiyetinde olup; üretim hacmi ve standartları açısından tamamen hayvancılık sektörünün makro dinamiklerine göre şekillenmektedir. Bu durum, deri endüstrisinin hammadde arzını; tarım politikaları, canlı hayvan varlığı, kesim oranları ve kırmızı et tüketim eğilimleri gibi dışsal faktörlere göbekten bağımlı kılmaktadır (Er, 2018). Özellikle et talebindeki konjonktürel dalgalanmalar, ham deri arzında kantitatif (miktarsal) ve kalitatif (niteliksel) belirsizliklere yol açmaktadır.

Bu yapısal bağımlılık, deri imalatındaki hassasiyetin temel kaynaklarından birini teşkil etmektedir. Ham derinin karakteristik özellikleri; hayvanın türü, yaşı, beslenme rejimi ve yetiştiricilik pratiklerinden doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle deri üretiminde standartlaşma çabaları, hammaddenin biyolojik ve heterojen doğası gereği kısıtlı kalabilmektedir (Brugnoli, 2017; Tsega ve diğ., 2022). Mevcut tablo, üretim süreçlerinin metodolojik ve yönetimsel düzeylerde adaptasyon yeteneğinin geliştirilmesi noktasında bir zorunluluk yaratmaktadır.

2.3. Üretim Süreçlerinde Zaman Mekân ve Mevsimsellik

Deri endüstrisindeki operasyonel süreçler; zamanlama, coğrafi lokasyon ve mevsimsel parametrelerden hatırı sayılır ölçüde etkilenmektedir. Ham derinin biyolojik bir materyal olması, hızlı deformasyon riskini beraberinde getirmekte; bu da derinin kesim sonrasında süratle işlenmesini veya optimize edilmiş koşullarda depolanmasını zorunlu kılmaktadır. İşlenmemiş derinin kalitesi; nem, ısı ve mikrobiyolojik etkenlerin belirleyici etkisi altında kalarak hammadde stabilitesini doğrudan sarsmaktadır (Navarro ve diğ., 2020).

Mevsimsellik olgusu ise hem hayvancılık döngüsü hem de iklimsel koşullar üzerinden imalat süreçlerini dolaylı yoldan yönetmektedir. Belirli kesim dönemlerindeki yoğunluklar, ham deri arzında dönemsel zirvelere yol açarken; bu durum kapasite kullanımı, lojistik ve iş gücü

planlamasında ek stres alanları yaratmaktadır. Ayrıca üretim tesislerinin (tabakhanelerin) belirli havzalarda kümelenmesi, ekolojik regülasyonlar ve altyapı limitleriyle birleştiğinde, mekânsal düzeyde yeni hassasiyet odakları ortaya çıkarmaktadır (Brugnoli, 2017; Omoloso ve diğ., 2021). Bu çok katmanlı çerçeve, deri sektöründeki yapısal duyarlılığı artıran temel bileşenlerden biri olarak mütalaa edilmektedir.

3. YAPISAL HASSASİYET KAVRAMI VE KURAMSAL ÇERÇEVE

Deri endüstrisindeki üretim süreçlerinin analizinde "yapısal hassasiyet" olgusu, sistemin belirli girdilere, yasal düzenlemelere ve ekolojik koşullara olan bağımlılığını açıklamak noktasında işlevsel bir analitik mercek sunmaktadır. Yapısal hassasiyet; yalnızca ani kriz anlarında tetiklenen kırılmalarla sınırlı kalmayıp, üretim mekanizmasının rutin işleyişinde var olan ve zamanla birikerek risk alanlarını konsolide eden bir kavramdır. Bu boyutuyla yapısal hassasiyet, üretim sürekliliğini tehdit eden çok katmanlı ve girift etkileşimlerin kavranmasına olanak tanımaktadır.

3.1. Endüstriyel Sistemlerde Hassasiyet ve Kırılganlık Yaklaşımları

Akademik yazında hassasiyet (sensitivity) ve kırılganlık (vulnerability) kavramları; imalat süreçlerinin dışsal şoklar, piyasa volatilitesi ve mevzuat değişimleri karşısındaki duyarlılığını betimlemek amacıyla ekseriyetle bir arada kullanılmaktadır. Kırılganlık, genellikle sistemin belirli bir tolerans eşiğini aşması neticesinde ortaya çıkan ani fonksiyon kayıplarını ifade ederken; hassasiyet, bu kırılma potansiyelini besleyen yapısal zemin ve ön koşullara işaret etmektedir. Dolayısıyla hassasiyet, kırılganlığın habercisi niteliğinde olup, sistemin hangi noktalarda risk biriktirdiğini deşifre etmektedir (Haug, 2018).

Biyolojik kökenli hammaddelere dayalı endüstri kollarında hassasiyet, çoğu zaman teknik kapasite yetersizliğinden ziyade; hammadde arz güvenliği, ekolojik yükler ve düzenleyici baskılar gibi sistemsel unsurlardan neşet etmektedir. Sektörün ilk işleme evrelerinde yoğunlaşan çevresel etkiler ve kimyasal kullanım oranları göz önüne alındığında, deri sanayisindeki bu durum somut bir görünüm kazanmaktadır (Navarro ve diğ., 2020). Netice itibarıyla yapısal hassasiyet; sadece olağanüstü dönemlerde beliren bir arıza değil, üretim süreçlerinin operasyonel doğasından kaynaklanan ayrıştırılamaz bir nitelik ve sektörel mimarinin kalıcı bir boyutu olarak kabul edilmelidir.

3.2. Küresel Değer Zinciri Bağlamında Yapısal Hassasiyet

Küresel değer zinciri (GVC) perspektifi, üretim süreçlerindeki hassasiyetlerin yerel koşulların ötesinde, zincirin halkaları arasındaki asimetrik güç ilişkilerinden de beslendiğini kanıtlamaktadır. Deri endüstrisi, ham deri tedarikinden bitmiş ürünlerin dünya pazarlarına arzına kadar uzanan çok aktörlü bir değer ağı içerisinde yer almaktadır. Bu hiyerarşik yapı, özellikle gelişmekte olan ekonomilerdeki üreticilerin çevresel ve düzenleyici baskılara karşı daha savunmasız bir konumda kalmasına sebebiyet vermektedir (Brugnoli, 2017).

Değer zinciri içerisindeki konum, yapısal hassasiyetin şiddetini belirleyen temel parametrelerden biridir. Üreticilerin küresel rekabetçiliklerini koruyabilmeleri için ekolojik kriterleri sağlama zorunluluğu, işletme maliyetleri ve operasyonel esneklik üzerinde ilave bir baskı oluşturmaktadır. Ancak bu baskılar her zaman edilgen bir uyum süreciyle

neticelenmemekte; aksine bazı durumlarda üreticilerin stratejik ve yönetsel yetkinlik geliştirme yoluyla mukavemetlerini artırmalarına da zemin hazırlayabilmektedir (De Marchi & Di Maria, 2019). Bu düzlemde yapısal hassasiyet; değer zinciri mekanizmalarıyla sürekli yeniden kurgulanan ve paydaşların stratejik ağırlığına göre şekillenen heterojen bir olgu olarak mütalaa edilmektedir.

3.3. Çevresel Ekonomik ve Kurumsal Hassasiyet Boyutları

Deri sanayisinde yapısal hassasiyet; çevresel, ekonomik ve kurumsal boyutların arakesitinde kristalleşmektedir:

Çevresel Hassasiyet: Su tüketimi, kimyasal yoğunluğu ve atık yönetimi gibi çevresel yüklerin yüksek olduğu tabaklama ve ön işleme aşamalarında yoğunlaşmaktadır. Yaşam döngüsü analizleri, bu yüklerin üretim zincirinin başlangıç noktalarında kümelendiğini göstermektedir (Navarro ve diğ., 2020; Omoloso ve diğ., 2021).

Ekonomik Hassasiyet: Hammadde arzındaki volatilite, enerji ve girdi maliyetlerindeki yükseliş ile küresel piyasa baskıları üzerinden belirginleşmektedir. Ham derinin hayvancılık sektörüne olan organik bağı, deri sanayisini doğrudan tarım politikaları ve tüketim alışkanlıklarına duyarlı hale getirmekte; bu da kapasite planlamasında yapısal belirsizlikler yaratmaktadır (Er, 2018; Tsega ve diğ., 2022).

Kurumsal Hassasiyet: Çevresel regülasyonlar, standartlar ve politika çerçeveleriyle ilintilidir. "Net-sıfır" vizyonu ve sürdürülebilirlik odaklı sertifikasyon süreçleri, sektörün adaptasyon yeteneklerini zorlarken; bu dönüşüm özellikle KOBİ ölçeğindeki üreticiler için aşılması gereken finansal ve yönetimsel bariyerleri beraberinde getirmektedir (Khan ve diğ., 2023).

Bu üçlü sacayağı birlikte değerlendirildiğinde; deri endüstrisindeki yapısal kırılganlığın geçici bir aksaklık olarak değil, sektörün geneline nüfuz eden çok bileşenli ve dinamik bir risk mimarisi olarak tanımlanması gerekliliği somutlaşmaktadır.

4. DERİ ENDÜSTRİSİNDE YAPISAL HASSASİYETİ BELİRLEYEN FAKTÖRLER

Deri endüstrisindeki yapısal hassasiyet; tekil bir sebepten ziyade, imalat süreçlerinin çok boyutlu bağımlılıkları ve eksojen (dışsal) etkenlerin kümülatif birleşimiyle şekillenen çok katmanlı bir sistematiğin çıktısı olarak kabul edilmektedir. Hammadde tedariki, ekolojik düzenlemeler, kaynak kullanım yoğunluğu ve küresel ölçekli sarsıntılar; üretim mekanizmasının farklı kademelerinde eş zamanlı olarak etkisini hissettirmekte, bu durum ise sektörel sürekliliği kırılgan bir zemine taşımaktadır. Aşağıda, deri endüstrisinde yapısal hassasiyeti tayin eden temel parametreler analitik bir düzlemde irdelenmektedir.

4.1. Ham Deri Arzı ve Girdi Bağımlılıkları

Sektörün en belirgin yapısal hassasiyet alanlarından biri, ham deri tedarikine yönelik yüksek düzeydeki bağımlılık ilişkisidir. Temel girdi niteliğindeki ham deri, gıda endüstrisinin (et üretimi) ikincil bir çıktısı olma özelliğini taşır; bu nedenle deri sektörü, hayvancılık piyasasındaki kesim hacmi ve tüketici eğilimlerinden doğrudan etkilenmektedir. Ham derinin bir yan ürün olarak üretim döngüsüne dahil olması, deri sanayisini tarım-hayvancılık politikaları ve gıda piyasası dinamiklerinin açık bir etki sahası haline getirmektedir (Er, 2018).

Buna ilaveten, ham derinin biyolojik doğası, kalite standartlarında homojenlik sağlanmasını güçleştirmektedir. Hayvanın türü, yaşı, beslenme rejimi ve yetiştirilme koşulları; deri kalitesi üzerinde belirleyici olmakta, bu durum ise imalat safhalarında standartlaşma ve maliyet yönetimi açısından yapısal bir zorluk yaratmaktadır (Brugnoli, 2017; Tsega ve diğ., 2022). Hammadde akışındaki bu öngörülemez yapı, girdi tedarik riskleri içerisinde yapısal hassasiyeti tetikleyen başat bir değişken olarak nitelendirilmektedir.

4.2. Çevresel Regülasyonlar ve Kimyasal Kısıtlamalar

Deri üretim süreçleri, doğası gereği yoğun kimyasal kullanımına dayandığı için çevresel regülasyon değişimlerinden en üst düzeyde etkilenen sanayi kollarından biridir. İşleme safhalarında kullanılan kimyasal girdilerin çeşitliliği, sürdürülebilirlik odaklı mevzuatların sertleşmesiyle birlikte yüksek uyum maliyetli bir transformasyon sürecini zorunlu kılmıştır. Bu tablo, teknik modernizasyon ihtiyacını artırmanın yanı sıra, üretim modellerinin köklü bir yapısal değişimden geçmesini kaçınılmaz hale getirmektedir (Omoloso ve diğ., 2021).

Küresel standartların yükselmesi ve "net-sıfır" hedeflerinin ana akım haline gelmesi; kimyasal kullanım kriterlerinin sadece ekolojik bir gereklilik değil, aynı zamanda küresel değer zincirinde rekabet gücünü belirleyen stratejik bir eşik olmasına yol açmıştır. Söz konusu uyum mekanizmaları; finansal ve teknik kapasite kısıtları bulunan KOBİ düzeyindeki teşebbüsler için temel bir kırılganlık odağı oluşturmaktadır (Khan ve diğ., 2023).

4.3. Enerji Su ve Atık Yönetimi Kaynaklı Hassasiyetler

Enerji sarfiyatı ve su tüketim değerleri, deri üretiminin hem ekolojik hem de operasyonel maliyet hassasiyetlerini biçimlendiren kritik parametreler arasında yer almaktadır. Özellikle üretimin başlangıç safhalarında (ıslatma-kireçleme vb.) tüketilen yüksek su miktarı, su stresinin yaşandığı bölgelerde üretim sürekliliğini tehdit etmektedir. Yaşam döngüsü analizleri (LCA), deri üretiminin çevresel ayak izinin ağırlıklı olarak su ve enerji yoğunluğundan kaynaklandığını teyit etmektedir (Navarro ve diğ., 2020).

Atık yönetimi olgusu ise yasal zorunlulukların ötesinde, sosyal onay mekanizmaları ve marka imajı açısından yüksek duyarlılık içeren bir sahadır. Katı atıkların, deşarj sularının ve kimyasal bakiyelerin yönetimi; yüksek yatırım maliyetleri ve ileri teknik altyapı gereksinimleri nedeniyle gelişmekte olan ekonomilerdeki üreticiler üzerinde ciddi bir baskı unsuru oluşturmaktadır (Omoloso ve diğ., 2021).

4.4. Küresel Şoklar ve Kriz Dinamikleri

Makroekonomik krizler, pandemi süreçleri, iklimsel afetler ve jeopolitik gerilimler; deri endüstrisindeki yapısal hassasiyetleri tetikleyen eksojen şoklar olarak öne çıkmaktadır. Bu tür sarsıntılar; hammadde akışında kesintilere, lojistik ağların felç olmasına ve küresel talep daralmalarına yol açarak değer zincirinin tüm halkalarını sarsmaktadır. Uluslararası ticaret ağlarına derinden entegre olan deri sektörü, bu tür şoklara karşı oldukça duyarlı ve savunmasız bir karakter sergilemektedir (De Marchi & Di Maria, 2019).

Kriz dönemleri, üretim süreçlerindeki yapısal zayıflıkların kristalleştiği ve sistemin dayanıklılık limitlerinin test edildiği süreçlerdir. Dış kaynaklara olan aşırı bağımlılık, yetersiz stoklama imkanları ve esneklikten yoksun (rijit) üretim modelleri; olağanüstü dönemlerde operasyonel

akışın kesintiye uğramasına zemin hazırlayan temel risk faktörleridir (Tsega ve diğ., 2022). Bu bağlamda küresel şoklar, yapısal hassasiyetlerin teorik bir kavramdan öte, sektörün varlığını tehdit eden pratik bir gerçeklik olduğunu kanıtlamaktadır.

5. DAYANIKLILIK KAVRAMI VE ÜRETİM SÜREÇLERİNE YANSIMALARI

Deri endüstrisinde imalat safhalarının yapısal hassasiyetlerle çevrelendiği bir düzlemde; dayanıklılık (resilience) olgusu, bu kırılganlıklara karşı geliştirilen adaptasyon ve süreklilik yetkinliğini açıklamak noktasında merkezi bir rol üstlenmektedir. Dayanıklılık, yalnızca öngörülemeyen şoklara karşı mevcut üretimi korumakla sınırlı kalmayıp; sistemlerin değişken ekolojik ve ekonomik konjonktüre uzun vadeli uyum sağlama potansiyelini de ihtiva etmektedir. Bu perspektifle dayanıklılık, yapısal zayıflıkların zıt kutbu değil; aksine bu unsurlarla diyalektik bir etkileşim içerisinde bulunan tamamlayıcı bir analiz çerçevesi mahiyetindedir (Haug, 2018).

5.1. Endüstriyel Dayanıklılık ve Adaptif Kapasite

Endüstriyel dayanıklılık; imalat sistemlerinin ani sarsıntılar, belirsizlikler ve yapısal kısıtlar altında operasyonel devamlılığını sürdürme ve organizasyonel yapısını yeniden kurgulama yeteneği şeklinde tanımlanmaktadır. Söz konusu kapasite, üretim süreçlerinin sadece kriz öncesi denge durumuna rücu etmesiyle kısıtlı kalmayıp; değişken çevresel parametrelerle uyumlu bir esneklik sergileyerek sistemin kendini evrimsel bir biçimde dönüştürmesini de barındırmaktadır. Bu dönüşümün odağında yer alan adaptif kapasite olgusu; üretim ağlarının kolektif öğrenme, inovasyon ve dinamik yeniden örgütlenme kabiliyetlerine vurgu yapmaktadır (Haug, 2018).

Deri sektörü özelinde bu uyum yeteneği; bilhassa ekolojik regülasyonlara entegrasyon, kimyasal girdi kullanımının minimize edilmesi ve kaynak verimliliğinin maksimize edilmesi gibi somut operasyonel pratiklerde tezahür etmektedir. İşletmelerin teknik müktesebatı, kurumsal birikimi ve yönetimsel çevikliği, bu adaptasyon süreçlerinin başarı düzeyini doğrudan tayin eden belirleyici faktörler arasında yer almaktadır. Bu noktadan hareketle dayanıklılık; dışsal tazyiklere karşı örülen pasif bir savunma hattı yerine, imalat süreçlerinin öz yetkinliklerini geliştirme dinamikleri üzerine inşa edilen proaktif bir mekanizma şeklinde mütalaa edilmelidir (De Marchi & Di Maria, 2019).

5.2. Üretim Süreçlerinde Esneklik ve Öğrenme Mekanizmaları

İmalat safhalarında sergilenen esneklik kabiliyeti, dayanıklılık olgusunun operasyonel düzlemdeki başarısını belirleyen en hayati unsurlar arasında konumlanmaktadır. Esneklik; üretim sistemlerinin girdi türleri, işlem hacmi ve süreç tasarımları açısından farklılaşan dışsal dinamiklere karşı çevik bir aksiyon alabilme ve kendini yapılandırma potansiyelini ifade etmektedir. Deri endüstrisinde hammadde kalitesindeki heterojenlik, çevresel kısıtlar ve pazar talebindeki dalgalanmalar, imalat süreçlerinde yüksek düzeyde esneklik katsayısı gerektirmektedir (Brugnoli, 2017).

Öğrenme mekanizmaları ise bu esnekliğin kurumsal bir kimlik kazanmasını sağlayan temel araçlardır. Üretim aşamalarında edinilen tecrübelerin kurumsal hafızaya dönüştürülmesi, hatalardan öğrenme ve süreç iyileştirme kültürü, dayanıklılık kapasitesinin zaman içerisinde

tahkim edilmesine katkı sağlamaktadır. Kalite yönetim sistemleri, yalın üretim felsefesi ve sürekli iyileştirme (kaizen) pratikleri, deri sanayisinde bu öğrenme süreçlerinin organizasyonel düzeyde desteklenmesine olanak tanımaktadır (Irjayanti & Azis, 2021; Kılıç ve diğ., 2025).

5.3. Tedarik Zinciri Dayanıklılığı ve Yerelleşme Stratejileri

Deri endüstrisinde dayanıklılık, yalnızca fabrika sınırları içindeki dinamiklerle kısıtlı olmayıp; değer zincirinin bütününü kapsayan bir perspektifle ele alınmalıdır. Tedarik zinciri dayanıklılığı, hammadde temininden lojistik operasyonlara kadar uzanan tüm halkaların kesintilere karşı mukavemetli hale getirilmesini tanımlamaktadır. Küresel değer ağlarına eklemlenmiş bir sektör olan deri sanayisinde, tedarik kanallarının karmaşıklığı ve uzunluğu, sistemin beklenmedik dışsal dalgalanmalara karşı kırılgan bir karakter sergilemesine sebebiyet verebilmektedir (Tsega ve diğ., 2022).

Bu bağlamda yerelleşme stratejileri, tedarik ağlarının direncini güçlendirme noktasında işlevsel bir mekanizma olarak kabul görmektedir. Ham deri tedarikinin çeşitlendirilmesi, yerel paydaşlarla iş birliğinin derinleştirilmesi ve bölgesel üretim kümelenmelerinin teşvik edilmesi, küresel şoklara karşı üretim sürekliliğini desteklemektedir. Ancak yerelleşme; küresel piyasalardan kopuşu değil, aksine uluslararası ve yerel ağların entegrasyonunda sürdürülebilir bir denge ile esneklik katsayısı yüksek bir operasyonel kurgu oluşturulmasını öngörmektedir (De Marchi & Di Maria, 2019). Bu çerçevede dayanıklılık; deri imalatında yapısal hassasiyetler karşısında yeniden örgütlenebilme ve sürdürülebilir bir varlık zemini inşa edebilme kapasitesine işaret eden interdisipliner bir paradigma olarak değerlendirilmektedir.

6. YAPISAL HASSASİYET KARŞISINDA DAYANIKLILIĞI ARTIRAN YAKLAŞIMLAR

Deri endüstrisindeki yapısal kırılganlıkların kalıcı olarak minimize edilebilmesi, yalnızca teknik revizyonlarla değil; üretim, yönetim ve stratejik yönetişim kademelerinde bütüncül bir perspektifin benimsenmesiyle mümkündür. Bu düzlemde dayanıklılığı (resilience) pekiştiren stratejiler, imalat süreçlerinin çevresel, ekonomik ve kurumsal baskılar karşısındaki adaptasyon kapasitesini tahkim etmeyi amaçlamaktadır. Aşağıda, deri sanayisindeki yapısal hassasiyetlere karşı geliştirilen temel mukavemet stratejileri irdelenmektedir.

6.1. Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi

Endüstriyel mukavemet; üretim sistemlerinin pandemi, hammadde krizleri veya ani talep dalgalanmaları gibi eksojen (dışsal) şoklar karşısında operasyonel işlevselliğini muhafaza edebilme kabiliyetidir. Ham deri tedariğinden nihai mamulün pazara arzına kadar uzanan döngünün çevresel ve sosyal kriterler ışığında yeniden kurgulanması, tedarik ağındaki kırılma risklerini dengelemektedir. Özellikle tedarik zinciri bileşenlerinde şeffaflık, izlenebilirlik ve paydaşlar arası stratejik eşgüdüm; imalat süreçlerinin dış kaynaklı dalgalanmalara karşı sektörel direncinin tahkim edilmesi noktasında kritik bir destekleyici rol oynamaktadır (Omoloso ve diğ., 2021).

Sürdürülebilirlik odaklı tedarik zinciri yaklaşımları, sadece ekolojik performansın iyileştirilmesini değil; aynı zamanda üretim sürekliliğinin güvence altına alınmasını da hedeflemektedir. Ham deri kaynaklarının çeşitlendirilmesi, alternatif tedarik kanallarının yapılandırılması ve uzun vadeli güvene dayalı tedarikçi partnerliklerinin tesisi, yapısal

hassasiyetlerin etkisini sönümleyen temel stratejilerdir (De Marchi & Di Maria, 2019). Bu düzlemde sürdürülebilir lojistik ve kaynak yönetimi disiplini; deri endüstrisindeki dayanıklılık potansiyelinin organizasyonel bünyede içselleştirilmesini mümkün kılmaktadır.

6.2. Dijital Entegrasyon ve Teknolojik Modernizasyon

Teknolojik paradigma değişimi ve dijital entegrasyon; deri sanayisinde üretim aşamalarının esnekliğini ve uçtan uca görünürlüğünü destekleyerek sistemsel dayanıklılık kapasitesini pekiştirmektedir. İmalat safhalarında devreye alınan otomasyon çözümleri, veri temelli takip sistemleri ve dijital kalite denetim araçları; kaynak sarfiyatının optimize edilmesine ve operasyonel hataların henüz oluşma aşamasında bertaraf edilmesine zemin hazırlamaktadır. Bu teknolojik tablo, hem ekolojik ayak izinin küçültülmesine hem de maliyet kalemlerindeki volatilite (belirsizlik) faktörünün kontrol altında tutulmasına hizmet etmektedir (Kılıç ve diğ., 2025).

Dijitalleşme hamleleri, tüm değer zinciri düzleminde enformasyon geçirgenliğini (transparency) güçlendirmekte ve yönetimsel karar alma süreçlerinin yüksek adaptasyon kabiliyetine sahip, proaktif bir kimlik kazanmasına aracılık etmektedir. Özellikle üretim programlama, stok yönetimi ve lojistik senkronizasyon aşamalarında kullanılan dijital argümanlar; küresel sarsıntılar esnasında imalat akışının korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu perspektifle teknolojik evrim; deri sektöründe dirençliliği tahkim eden stratejik bir mihenk taşı şeklinde nitelendirilmektedir (Irjayanti & Azis, 2021).

6.3. Döngüsel Ekonomi ve Yan Ürün Değerlendirme Modelleri

Döngüsel ekonomi modelleri, deri sektöründeki yapısal kırılganlıkların minimize edilmesinde yüksek bir stratejik potansiyel barındırmaktadır. İmalat döngüsünde açığa çıkan yan çıktıların ve atıkların yeniden ekonomik değere dönüştürülmesi; hem çevresel baskıların hafifletilmesine hem de dışsal hammadde bağımlılığının azaltılmasına hizmet etmektedir. Sektörün gıda endüstrisiyle olan organik bağları düşünüldüğünde, yan ürünlerin katma değerli çıktılara dönüştürülmesi; sistemsel esnekliği tahkim eden birincil değişkenler arasında yer almaktadır (Brugnoli, 2017).

Döngüsel ekonomi pratikleri, salt çevresel kazanımlarla sınırlı kalmayıp iktisadi dirençliliği de pekiştirmektedir. Atık geri kazanımı, ikincil ürünlerin alternatif kullanım sahalarına kanalize edilmesi ve kaynak verimliliğinin artırılması; birim maliyetlerin aşağı çekilmesine ve pazar belirsizliklerine yönelik yüksek mukavemetli bir operasyonel kurgunun oluşturulmasına imkan sunmaktadır (Omoloso ve diğ., 2021).

6.4. Kurumsal Yönetişim Bilgi ve İnsan Kaynağı

Deri endüstrisinde mukavemetin artırılmasında kurumsal yönetişim mimarisi, kolektif bilgi birikimi ve insan kaynağı niteliği belirleyici bir rol üstlenmektedir. Yeşil regülasyonlara uyum ve teknolojik dönüşüm stratejilerinin başarısı, güçlü kurumsal yapılar ile donanımlı insan kaynağının varlığına endekslidir. Bu bağlamda; idari mekanizmaların şeffaf doğası, kararlara katılım düzeyi ve kurumsal öğrenme potansiyeli, sektörel mukavemetin inşa edildiği ana eksenleri oluşturmaktadır (Khan ve diğ., 2023).

Enformasyon ve insan sermayesine yönelik yatırımlar, üretim süreçlerinde adaptif kapasitenin güçlenmesini sağlamaktadır. Sektörel eğitim programları ve organizasyonel bilgi transferi; deri üretim sistemlerinin belirsiz pazar dinamikleri karşısında daha çevik ve yüksek performanslı bir uyum sergilemesine olanak tanımaktadır. Bu çerçevede kurumsal yönetişim; teknik ve ekolojik stratejilerin uygulanabilirliğini destekleyen kritik bir yapı taşı olarak değerlendirilmektedir (Irjayanti & Azis, 2021).

7. TÜRKİYE DERİ ENDÜSTRİSİNDE YAPISAL HASSASİYET VE DAYANIKLILIK

Türkiye deri endüstrisi, köklü bir sınai mirasa ve küresel pazarlara entegre bir modele dayanmasına karşın; imalat safhalarında stratejik müdahaleler gerektiren belirgin bir hassasiyet zemini üzerinde yer almaktadır. Ham madde teminindeki dışa bağımlılık, çevresel mevzuat yükümlülükleri ve küresel değer zinciri içerisindeki konum; sektörün operasyonel sürekliliğini ve rekabetçilik kapasitesini doğrudan şekillendirmektedir. Bu düzlemde Türkiye deri ekosistemi, yapısal kırılganlıklar ile mukavemet potansiyellerinin eş zamanlı olarak gözlemlendiği özgün bir örneklem sunmaktadır.

7.1. Türkiye'de Ham Deri Arz Yapısının Analizi

Sektörün temel girdisi olan ham deri arzı, büyük oranda ulusal hayvancılık faaliyetlerinin çıktılarına endekslidir. Bu noktada hammadde arzı; hayvansal protein üretim hacmi ve tarım-hayvancılık politikalarıyla doğrudan ilintili olarak istikrarsız bir seyir izlemektedir. Söz konusu dinamikler, imalat süreçlerinde hammadde güvenliğini ve nihai çıktı standartlarındaki sürdürülebilirliği olumsuz etkileyen birincil risk unsurları içerisinde mütalaa edilmektedir (Er, 2018).

Türkiye'deki ham deri arzının miktar (tonaj) ve kalite (standartizasyon) bakımından iç talebi karşılayamaması, endüstriyel döngünün devamlılığı noktasında ithalat mekanizmalarına olan bağımlılığı pekiştirmektedir. Ancak dış alıma dayalı hammadde politikası; döviz kuru volatilitesi, lojistik maliyet artışları ve tedarik terminleri gibi ek risk parametrelerini beraberinde getirmektedir. Bu yapısal kurgu, üretim maliyetlerinin öngörülebilirliğini zayıflatmakta ve sektörün kırılganlığını derinleştirmektedir (Brugnoli, 2017). Dolayısıyla yerli arz yapısındaki kısıtlar, sektörün üretim süreçlerindeki temel bir hassasiyet odağı olarak belirmektedir.

7.2. Yapısal Hassasiyet Alanları

Türkiye deri sanayisinde yapısal hassasiyet, yalnızca hammadde kısıtlarıyla sınırlı kalmayıp; ekolojik, ekonomik ve kurumsal boyutlarda çok katmanlı bir görünüm sergilemektedir. Çevresel perspektiften bakıldığında; tabaklama ve ön işleme aşamalarındaki yoğun kaynak kullanımına dayalı model, sektörün çevresel regülasyonlara karşı duyarlılığını artırmaktadır. Özellikle atık su yönetimi ve kimyasal protokoller çerçevesinde sıkılaşan yeşil mevzuatlar; KOBİ düzeyindeki teşebbüslerin operasyonel adaptasyon giderlerini yukarı taşımaktadır (Omoloso ve diğ., 2021).

Ekonomik düzlemdeki hassasiyetler ise enerji birim maliyetleri, parite dalgalanmaları ve küresel rekabet baskıları üzerinden kristalleşmektedir. Sektör, dış satım öncelikli bir yapı sergilemesine rağmen, küresel piyasalardaki talep şoklarına ve fiyat baskılarına karşı

savunmasız bir konumda bulunmaktadır (Tsega ve diğ., 2022). Kurumsal düzeyde ise mevzuat uyum hızı, teknolojik yetkinlik eksikliği ve nitelikli iş gücü arzı, imalat süreçlerinin esnekliğini kısıtlayan parametreler arasında değerlendirilmektedir.

7.3. Dayanıklılık Potansiyelleri ve Politika Çıkarımları

Mevcut tüm hassasiyet alanlarına karşın Türkiye deri endüstrisi, kayda değer bir dayanıklılık kapasitesini de bünyesinde barındırmaktadır. Sektörün tarihsel imalat tecrübesi, küresel pazarlarla kurduğu güçlü bağlar ve bölgesel kümelenme avantajları, adaptif kabiliyetin güçlenmesine zemin hazırlamaktadır. Ayrıca yeşil üretim modellerine yönelik artan farkındalık ve modernizasyon yatırımları, süreç esnekliğini artıran stratejik unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Irjayanti & Azis, 2021; Kılıç ve diğ., 2025).

Politika ekseninde ise yerli ham deri arzının tahkim edilmesi amacıyla hayvancılık stratejilerinin, deri sanayisinin gereksinimleriyle eş güdüm içerisinde kurgulanması hayati önem taşımaktadır. Bununla birlikte, yeşil dönüşüm regülasyonlarına uyumlanma safhasında hayata geçirilecek teknik kapasite artırım programları; küçük ölçekli işletmelerin dışsal şoklara karşı savunma mekanizmalarını güçlendirecektir. Tedarik ağlarında yerelleşme ve kaynak çeşitlendirme stratejilerinin teşvik edilmesi, küresel dalgalanmalara karşı üretim sürekliliğinin muhafaza edilmesine hizmet edecektir (De Marchi & Di Maria, 2019).

Sonuç olarak Türkiye deri endüstrisi; yapısal kırılganlıkların minimize edilmesi ve mukavemetin artırılması noktasında bütüncül müdahalelere ihtiyaç duyan, ancak aynı zamanda bu yapısal dönüşümü gerçekleştirebilecek tarihsel ve teknolojik potansiyele sahip bir sanayi alanı olarak nitelendirilmektedir.

8. TARTIŞMA

Yürütülen bu araştırma; deri endüstrisindeki imalat süreçlerinin, yapısal hassasiyet ile organizasyonel mukavemet denklemi üzerinde çok boyutlu bir karakter sergilediğini doğrulamaktadır. Elde edilen bulgular, sektörün yalnızca ekolojik baskılara maruz kalan bir üretim alanı olmanın ötesinde; hammaddeye olan kronik bağımlılık, küresel değer zinciri entegrasyonu ve yönetimsel yetkinlik farklılıkları nedeniyle sürekli bir devinim halindeki yapısal gerilimleri bünyesinde barındırdığına işaret etmektedir. Söz konusu saptamalar, literatürde sıklıkla karşımıza çıkan çevre odaklı ve sürdürülebilirlik eksenli kuramsal tartışmaları bütünleyici bir mahiyet taşımaktadır.

Literatürde deri endüstrisinin çevresel etkilerini merkeze alan çalışmalar, özellikle su tüketimi, kimyasal kullanım yoğunluğu ve atık yönetimi gibi kronik sorunları sektörün temel kırılganlık alanları olarak tanımlamaktadır (Navarro ve diğ., 2020; Omoloso ve diğ., 2021). Mevcut araştırma kapsamında elde edilen çıktılar, üretim safhalarının erken aşamalarında kümelenen çevresel yüklerin, yapısal hassasiyetin odak noktasını oluşturduğunu teyit etmektedir. Ancak bu çalışmanın özgün katkısı; söz konusu çevresel hassasiyetleri yalnızca teknik bir problematik olarak değil; hammadde arz güvenliği, regülasyon baskıları ve üretim sürekliliğiyle doğrudan ilintili sistemsel bir özellik şeklinde ele almasıdır.

Ham deri arzına dayalı bağımlılıklar, akademik yazında ekseriyetle sektörel bir kısıt olarak zikredilse de, pek çok çalışmada ikincil bir sorun alanı şeklinde değerlendirilmiştir (Brugnoli, 2017; Tsega ve diğ., 2022). Özellikle hayvancılık sektöründeki periyodik dalgalanmaların ve

ham madde kalite varyasyonlarının üretim süreçlerinde standartlaşmayı güçleştirdiği bulgusu; Er (2018) tarafından ortaya konulan hammadde bağımlılığı tartışmasını genişleterek kanıtlar niteliktedir.

Küresel değer zinciri perspektifiyle bakıldığında; çalışmanın ulaştığı sonuçlar, De Marchi ve Di Maria (2019) tarafından geliştirilen "tedarikçi ajansı" ve "çevresel yükseltme" (environmental upgrading) kuramlarıyla örtüşmektedir. Deri imalatçılarının, düzenleyici baskılar karşısında edilgen bir uyum sergilemek yerine; belirli koşullar altında proaktif bir adaptif kapasite geliştirebildikleri gözlemlenmiştir. Fakat bu kapasitenin, üreticilerin zincir hiyerarşisindeki konumuna ve kurumsal bilgi birikimine bağlı olarak asimetrik bir dağılım sergilemesi, literatürdeki eşitsiz güç ilişkileri tartışmasını destekleyen bir bulgudur.

Dayanıklılık (resilience) kavramı bağlamında elde edilen veriler, Haug (2018) tarafından vurgulanan adaptif ve dönüşümsel mukavemet yaklaşımlarıyla uyumludur. Bu çalışma, sektörel direncin krizlere yönelik anlık ve reaktif müdahalelerin ötesine geçtiğini; aksine imalat süreçlerinde esneklik ve organizasyonel kapasite artırımı yoluyla şekillenen stratejik bir evrim süreci olarak tanımlanması gerektiğini gün yüzüne çıkarmaktadır. Bu saptama; süreç iyileştirme ve kalite odaklı stratejilerin pazar gücü üzerindeki pozitif etkisini vurgulayan güncel araştırmaları doğrulamaktadır (Irjayanti ve Azis, 2021; Kılıç ve diğ., 2025).

Türkiye deri sektörü özelinde ulaşılan sonuçlar; mevcut literatürde genellikle tasvir düzeyinde kalan yapısal darboğazları, daha kapsayıcı ve sistem odaklı bir perspektifle analiz etme olanağı sunmaktadır. Yerli ham deri arzındaki kısıtlar, çevre mevzuatına uyumun getirdiği maliyet yükü ve küresel pazarlara olan entegrasyon düzeyi, Türkiye özelinde yapısal hassasiyetin ana parametreleri olarak belirmektedir. Bununla birlikte, tarihsel üretim deneyimi ve teknolojik modernizasyon potansiyeli, sektörün dayanıklılık katsayısını artırabilecek stratejik unsurlar olarak mütalaa edilmektedir. Bu bulgular, gelişmekte olan ekonomilerde deri endüstrisinin hem hassasiyet hem de gelişim potansiyellerini eş zamanlı barındırdığına dair çalışmaları desteklemektedir (Tsega ve diğ., 2022).

Genel bir değerlendirme yapıldığında; tartışma bulguları, deri endüstrisinde yapısal hassasiyet ile dayanıklılık arasındaki ilişkinin doğrusal değil; dinamik ve karşılıklı etkileşime dayalı bir yapı sergilediğini ispatlamaktadır. Belirlenen hassasiyet alanları, rasyonel yönetim araçlarıyla ele alındığında; dayanıklılık kapasitesinin tahkim edilmesine yönelik birer stratejik müdahale noktası mahiyetini kazanmaktadır. Bu yönüyle çalışma, deri endüstrisinin geleceğine dair sürdürülebilirlik ve rekabetçi strateji literatürüne yapısal bir perspektif kazandırmaktadır.

9. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu araştırma, deri imalat ekosistemindeki operasyonel süreçlerin, yapısal hassasiyet ile organizasyonel mukavemet düzleminde çok katmanlı bir karakter sergilediğini kanıtlamıştır. Sektörün operasyonel devamlılığını doğrudan tayin eden temel bileşenler arasında; hayvancılık politikalarına endeksli hammadde mimarisi, ekolojik regülasyonların giderek ağırlaşan yaptırımları, kaynak yoğun imalat safhaları ve küresel değer zincirlerindeki entegrasyon modelleri yer almaktadır. Araştırma bulguları, deri sanayisinin sadece çevresel zorlamalara açık bir alan olmadığını; aynı zamanda iktisadi ve organizasyonel bağımlılıkların odağında şekillenen sofistike bir endüstriyel sistem mahiyetinde olduğunu teyit etmektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen kavramsal çerçeve, yapısal hassasiyetin konjonktürel krizlere özgü geçici bir durumdan ziyade, üretim süreçlerinin gündelik işleyişine içkin bir özellik olduğunu ortaya koymaktadır. Bu hassasiyetler; ham deri arzındaki dalgalanmalar, regülasyon uyum maliyetleri ve kaynak kullanımına ilişkin kısıtlar yoluyla üretim sisteminde birikmekte; küresel şoklar ve kriz dönemlerinde ise daha görünür hale gelmektedir. Bu durum, deri endüstrisinde sürdürülebilirlik ve rekabet tartışmalarının yalnızca teknik iyileştirmelerle sınırlandırılamayacağını göstermektedir.

Bununla birlikte çalışma, deri endüstrisinin önemli dayanıklılık potansiyelleri barındırdığını da ortaya koymaktadır. Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi, teknolojik dönüşüm, döngüsel ekonomi uygulamaları ve kurumsal kapasite geliştirme yaklaşımları; yapısal hassasiyetlerin etkisini azaltabilecek temel araçlar olarak öne çıkmaktadır. Dayanıklılık, bu bağlamda yalnızca kriz anlarında üretimin sürdürülmesini değil; imalat sistemlerinin uzun vadede değişen çevresel, ekonomik ve kurumsal koşullara uyum sağlayabilme yeteneğini (adaptif kapasiteyi) ifade etmektedir.

Türkiye deri endüstrisi özelinde yapılan değerlendirmeler, sektörün belirgin yapısal hassasiyetler taşımasına karşın, bu zorlukları dönüştürebilecek önemli bir adaptif kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir. Üretim deneyimi, ihracat altyapısı ve belirli bölgelerde yoğunlaşan sanayi kümelenmeleri, dayanıklılığın artırılmasına yönelik stratejik avantajlar sunmaktadır. Ancak bu potansiyelin hayata geçirilebilmesi; ham deri arzı, çevresel regülasyon uyumu ve insan kaynağı kapasitesinin bütüncül politikalarla ele alınmasını gerektirmektedir.

Genel olarak bu çalışma, deri imalatı bağlamında yapısal kırılganlık ve dayanıklılık olgularının birbirinin karşıtı olmaktan ziyade, diyalektik bir etkileşim içerisinde bulunduğunu gün yüzüne çıkarmıştır. Kritik hassasiyet noktaları, rasyonel yönetim yaklaşımları ve yenilikçi üretim modelleriyle ele alındığında; sistemin adaptif kapasitesini güçlendiren kaldıraç noktaları mahiyetini kazanmaktadır. Bu yönüyle çalışma, deri sanayisine yönelik sürdürülebilirlik ve rekabetçi strateji literatürüne kapsamlı ve metodolojik bir katkı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

Brugnoli, F. (2017). Sustainability in the leather value chain: Global overview, regional and sectoral peculiarities. Journal of the American Leather Chemists Association, 112(9), 286–293.

De Marchi, V., & Di Maria, E. (2019). Environmental upgrading and suppliers' agency in the leather global value chain. Sustainability, 11(23), 6530. https://doi.org/10.3390/su11236530.

Er, H. (2018). Deri ve deri mamulleri sanayinde ham derinin önemi. Balkan & Near Eastern Journal of Social Sciences, 4(4).

Haug, A. (2018). Defining "resilient design" in the context of consumer products. The Design Journal, 21(1), 15–36. https://doi.org/10.1080/14606925.2018.1409993.

Irjayanti, M., & Azis, A. M. (2021). Quality management for leather industry to increase competitiveness in the global market. HOLISTICA – Journal of Business and Public Administration, 12(2), 16–30. https://doi.org/10.2478/hjbpa-2021-0014.

Khan, M. R., Vorselaars, B., Rahman, M., Elseragy, A., & Ahmed, W. (2023). Leather industry and its impact on net zero. In A. Ahmed (Ed.), Innovations in materials chemistry, physics, and engineering research (pp. 321–345). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6350-0.ch017.

Kılıç, E., Yaman, B., & Ünver, M. (2025). Deri atölyesinde değer akış haritalama ve yalın tekniklerle verimlilik yönetimi. Verimlilik Dergisi, 59(2), 467–480.

Navarro, D., Wu, J., Lin, W., Fullana-i-Palmer, P., & Puig, R. (2020). Life cycle assessment and leather production. Journal of Leather Science and Engineering, 2(1), 26. https://doi.org/10.1186/s42825-020-00033-0.

Omoloso, O., Mortimer, K., Wise, W. R., & Jraisat, L. (2021). Sustainability research in the leather industry: A critical review of progress and opportunities for future research. Journal of Cleaner Production, 285, 125441. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125441.

Tsega, T. T., Thoben, K. D., Rao, D. N., & Haile, B. (2022). Leather and textile industries—Strategic sectors for Ethiopia to gain capability of manufacturing for global market competitiveness: A literature review. Ethiopian Journal of Science and Technology, 15(1), 9–30.

GELENEKSEL DAVUL DERİSİ ÜRETİMİ VE KÜLTÜREL SÜREKLİLİK

Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu
her@nku.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-2125-7406

Öğr. Gör. ERTAN EROL
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu
eerol@nku.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-2595-9387

ÖZET

Geleneksel davul derisi üretimi, hayvansal kökenli derinin ses üretimine uygun bir yüzeye dönüştürülmesinin ötesinde, teknik bilgi, zanaatkârlık deneyimi, müzikal estetik ve kültürel aktarımın bir arada şekillendiği çok katmanlı bir üretim pratiğidir. Bu çalışma, geleneksel davul derisi üretimini teknik, kültürel ve müzikal boyutlarıyla ele alarak söz konusu üretim pratiğinin kültürel süreklilik içerisindeki rolünü incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, ulusal ve uluslararası literatüre dayalı kavramsal bir inceleme niteliğindedir. Bu kapsamda davul derisi üretiminin tarihsel arka planı, ham deri seçimi, geleneksel işleme teknikleri, germe, kurutma ve yüzey hazırlama süreçleri ile derinin yapısal ve tınısal özellikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca usta-çırak ilişkisine dayalı deneyimsel bilgi aktarımı ve modernleşmenin geleneksel üretim üzerindeki etkileri incelenmiştir. Değerlendirmeler, hayvan türü, deri bölgesi, kalınlık, elastikiyet, kollajen lif düzeni ve çevresel koşullara duyarlılık gibi özelliklerin davulun tınısal karakterinin oluşumunda belirleyici olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte geleneksel üretimin sürekliliğinde ustalık bilgisinin kuşaklar arası aktarımı merkezi bir önem taşımaktadır. Sentetik davul derilerinin standartlaşma, dayanıklılık ve çevresel koşullara direnç gibi avantajlarına karşın doğal davul derileri, organik tını çeşitliliği ve kültürel anlamları nedeniyle belirli müzikal bağlamlarda önemini korumaktadır. Sonuç olarak geleneksel davul derisi üretiminin korunması; üretim tekniklerinin yanı sıra ustalık bilgisinin belgelenmesini, aktarım modellerinin desteklenmesini ve bu zanaatkârlık pratiğinin kültürel miras çerçevesinde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Davul derisi, geleneksel üretim, kültürel süreklilik, zanaatkârlık, tını.

1. GİRİŞ

Davul derisi, vurmalı çalgılarda sesin doğrudan üretildiği yüzey olması nedeniyle, enstrümanın tınısal karakterini belirleyen temel bileşenlerden biri olarak kabul edilmektedir. Derinin kalınlığı, elastik yapısı, lif yoğunluğu ve çevresel koşullara verdiği tepkiler; sesin frekans içeriği, rezonans süresi ve dinamik aralığı üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu bağlamda davul derisi, yalnızca çalgının teknik bir parçası değil, müzikal ifadenin niteliğini biçimlendiren merkezi bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Gök, 2025; Toulson et al., 2009). Geleneksel müzik pratiklerinde doğal hayvansal derilerin tercih edilmesi, ses üretiminde ortaya çıkan yapısal değişkenlik ve organik tını özellikleriyle doğrudan ilişkilidir.

Davul derisinin önemi, teknik ve akustik boyutun ötesine geçerek kültürel anlam üretimiyle de yakından bağlantılıdır. Farklı kültürlerde kullanılan davul derileri, yalnızca ses üretiminde işlev gören bir yüzey değil; doğa, insan ve müzik arasındaki ilişkinin sembolik bir yansıması olarak ele alınmıştır. Hayvansal derinin kullanımı, üretim sürecine eşlik eden zanaatkârlık bilgisi ve ritüel bağlamlar, davul derisine kültürel bir temsil boyutu kazandırmıştır. Bu yönüyle davul derisi, belirli bir estetik anlayışı ve müzikal beklentiyi taşıyan kültürel bir nesne olarak değerlendirilmektedir (Hartigan, 1995; Gomez & Nelson, 2012).

Geleneksel davul derisi üretimi, standartlaştırılmış endüstriyel süreçlerden ziyade, deneyimsel bilgiye ve yerel üretim pratiklerine dayalı olarak şekillenmiştir. Ham deri seçimi, derinin işlenmesi, gerilmesi ve kurutulması gibi aşamalar, ölçülebilir teknik parametrelerin ötesinde, ustalık bilgisi ve sezgisel değerlendirmeler aracılığıyla yürütülmüştür. Bu durum, davul derisi üretiminin yalnızca teknik bir imalat süreci değil; bilgi, deneyim ve kültürel aktarımın iç içe geçtiği bir zanaatkârlık pratiği olduğunu göstermektedir (Oral et al., 2022; Eluyefa, 2011).

Modern üretim teknikleri ve sentetik davul derilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, davul derisinin üretiminde standartlaşma, öngörülebilirlik ve dayanıklılık ön plana çıkmıştır. Ancak bu gelişmeler, geleneksel davul derisi üretiminin sunduğu organik tını çeşitliliği ve kültürel anlam katmanlarını tam olarak ikame edememektedir. Nitekim birçok müzikal ve kültürel bağlamda, doğal davul derileri hâlen bilinçli bir tercih olarak varlığını sürdürmektedir. Bu durum, davul derisi üretiminin yalnızca teknik bir mesele değil; kültürel süreklilik, estetik değerler ve müzikal kimlikle ilişkili çok katmanlı bir alan olduğunu ortaya koymaktadır (Eden & İmik, 2024; Çelik, 2017).

Bu çalışma, geleneksel davul derisi üretimini teknik, kültürel ve müzikal boyutlarıyla ele alarak, bu üretim pratiğinin kültürel süreklilik içerisindeki rolünü incelemeyi amaçlamaktadır. Davul derisinin üretim süreçlerine odaklanan bu yaklaşım, çalgının kendisinden ziyade, sesin üretildiği malzemenin taşıdığı anlam ve işlevler üzerinden bir değerlendirme sunmaktadır.

2. GELENEKSEL DAVUL DERİSİ ÜRETİMİNİN TARİHSEL ARKA PLANI

Geleneksel davul derisi üretiminin tarihsel kökenleri, vurmalı çalgıların ortaya çıkışıyla eş zamanlı olarak insanlık tarihinin erken dönemlerine kadar uzanmaktadır. Arkeolojik bulgular, yazılı kaynaklar ve etnografik veriler, hayvansal derilerin ses üretiminde kullanılmasının yalnızca pratik bir çözüm değil; ritüel, törensel ve sembolik anlamlar içeren bir tercih olduğunu göstermektedir. Davul derisi, bu bağlamda sesin üretildiği yüzey olmanın ötesinde, doğa ile kurulan ilişkinin ve toplumsal anlam üretiminin maddi bir yansıması olarak değerlendirilmiştir (Mandaloğlu, 2011; Hartigan, 1995).

2.1. Antik ve Geleneksel Toplumlarda Davul Derisi Kullanımı

Antik ve geleneksel toplumlarda davul derisi, ritüel ve törensel pratiklerin ayrılmaz bir bileşeni olarak kullanılmıştır. Şamanistik inanç sistemleri ve erken dönem topluluklarda, hayvansal derilerden üretilen davul yüzeyleri, yalnızca ses üretmek amacıyla değil; spiritüel iletişimi kolaylaştıran ve kutsal kabul edilen bir araç olarak değerlendirilmiştir. Kullanılan hayvanın türü, derinin işlenme biçimi ve davula gerilme şekli, ritüelin anlam dünyasıyla doğrudan ilişkilendirilmiştir. Bu durum, davul derisinin üretim sürecinin erken dönemlerden itibaren

teknik bir uygulamanın ötesinde, inanç temelli ve kültürel bir pratik olarak şekillendiğini göstermektedir (Durojaye, 2017; Göher, t.y.).

Birçok geleneksel kültürde hayvansal derinin seçimi, ritüelin niteliğine ve toplumsal bağlama göre farklılık göstermiştir. Kalın ve dayanıklı deriler daha güçlü ve tok sesler elde etmek için tercih edilirken, ince ve esnek deriler daha hassas ve nüanslı tınılar üretmek amacıyla kullanılmıştır. Bu tercihlerin, yalnızca akustik beklentilerle değil; aynı zamanda sembolik anlamlar ve kültürel kodlarla da ilişkilendirildiği görülmektedir. Dolayısıyla davul derisi, ritüel bağlamlarda ses üretiminin yanı sıra, toplumsal belleğin ve kültürel kimliğin taşıyıcısı olarak işlev görmüştür (Price, 2013; Hartigan, 1995).

2.2. Anadolu ve Çevre Kültürlerde Davul Derisi Üretiminde Süreklilik

Anadolu coğrafyası, farklı kültürlerin ve inanç sistemlerinin kesişim noktası olması nedeniyle, geleneksel davul derisi üretiminin sürekliliğini gözlemlemek açısından önemli bir örnek sunmaktadır. Antik Anadolu uygarlıklarından Orta Asya kökenli Türk topluluklarına uzanan tarihsel süreçte, davul derisi üretimi yerel bilgiye, çevresel koşullara ve hayvancılık pratiklerine bağlı olarak şekillenmiştir. Bu süreçte ham deri seçimi, işleme yöntemleri ve germe teknikleri, kuşaktan kuşağa aktarılan deneyimsel bilgi aracılığıyla korunmuştur (Çelik, 2017; Mandaloğlu, 2011).

Anadolu ve çevre kültürlerde davul derisi üretimi, çoğu zaman belirli ustaların uzmanlığına dayalı olarak sürdürülmüş; bu ustalık bilgisi yazılı kaynaklardan ziyade sözlü aktarım ve uygulamalı öğrenme yoluyla aktarılmıştır. Yerel üretim bilgisi, derinin hangi mevsimde hazırlanacağı, hangi hayvan türünün tercih edileceği ve derinin nasıl gerileceği gibi ayrıntıları içermekte; bu bilgiler üretim sürecinin başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu yönüyle davul derisi üretimi, yalnızca teknik bir imalat faaliyeti değil; kültürel aktarımın ve zanaatkârlık geleneğinin somutlaştığı bir pratik olarak değerlendirilmektedir (Uzunkaya & Akbal, 2014; Eluyefa, 2011).

Günümüze kadar ulaşan bu üretim geleneği, davul derisinin kültürel süreklilik içerisindeki rolünü açık biçimde ortaya koymaktadır. Anadolu ve çevre kültürlerde sürdürülen geleneksel davul derisi üretimi, modernleşme ve endüstriyel üretim süreçlerine rağmen, belirli müzikal ve kültürel bağlamlarda varlığını korumaktadır. Bu durum, davul derisinin yalnızca geçmişe ait bir malzeme değil; yaşayan kültürel pratikler içerisinde anlam üretmeye devam eden bir unsur olduğunu göstermektedir (Gomez & Nelson, 2012; Çelik, 2017).

3. HAM DERİ SEÇİMİ VE GELENEKSEL ÜRETİM BİLGİSİ

Geleneksel davul derisi üretiminde ham deri seçimi, elde edilecek sesin niteliğini belirleyen en kritik aşamalardan biri olarak kabul edilmektedir. Bu aşama, yalnızca fiziksel ve mekanik özelliklere dayalı teknik bir değerlendirmeden ibaret değildir; aynı zamanda yerel bilgi, deneyim ve kültürel birikimle şekillenen bir zanaatkârlık pratiğini yansıtmaktadır. Hangi hayvan türünün derisinin kullanılacağı, derinin hangi anatomik bölgesinin tercih edileceği ve derinin hangi koşullarda işleneceği gibi kararlar, ustalık bilgisinin temel göstergeleri arasında yer almaktadır. Geleneksel üretim bağlamlarında bu kararlar, ölçülebilir standartlardan ziyade, deneyime dayalı sezgisel değerlendirmelerle alınmaktadır (Oral et al., 2022; Gök, 2025).

3.1. Hayvan Türü ve Deri Bölgesi Tercihleri

Davul derisi üretiminde kullanılan ham deriler çoğunlukla sığır, koyun ve keçi gibi hayvanlardan elde edilmektedir. Bu hayvan türleri arasında yapılan tercihler, derinin kalınlığı, lif yoğunluğu, elastik davranışı ve dayanıklılığı gibi yapısal özelliklere bağlı olarak değişmektedir. Sığır derileri, görece kalın ve sağlam yapıları sayesinde daha tok, güçlü ve hacimli bir ses üretimine olanak tanırken; koyun ve keçi derileri daha ince ve esnek yapılarıyla daha parlak, duyarlı ve nüanslı tınılar elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu yapısal farklılıklar, geleneksel müzik pratiklerinde kullanılan davul türlerinin işlevsel ve estetik beklentileriyle doğrudan ilişkilidir (Gök, 2025; Eden & İmik, 2024).

Hayvan türünün yanı sıra derinin hangi anatomik bölgeden elde edildiği de davul derisi üretiminde belirleyici bir unsurdur. Sırt ve yan bölgelerden alınan deriler, kollajen liflerin daha düzenli ve homojen bir yapıya sahip olması nedeniyle, davul derisi üretiminde daha sık tercih edilmektedir. Buna karşılık karın ve boyun bölgeleri, lif yoğunluğunun düzensizliği ve yapısal zayıflıklar içermesi nedeniyle geleneksel üretimde sınırlı ölçüde kullanılmaktadır. Bu tür tercihler, yerel üretim bilgisinin yalnızca kültürel değil; aynı zamanda malzeme bilimiyle örtüşen bir teknik rasyonalite içerdiğini göstermektedir (Oral et al., 2022; Dirgar et al., 2023).

Geleneksel üretimde deri seçimi, çoğu zaman belirli bir ses beklentisine göre şekillenmektedir. Ustalar, elde etmek istedikleri tınıya bağlı olarak hayvan türü ve deri bölgesi tercihlerini bilinçli biçimde ayarlamakta; bu bilgi yazılı kaynaklardan ziyade uzun yıllara dayanan deneyim yoluyla edinilmektedir. Bu durum, ham deri seçiminin davul derisi üretiminde yalnızca başlangıç aşaması değil; ses estetiğinin temellerinin atıldığı kritik bir karar noktası olduğunu ortaya koymaktadır (Toulson et al., 2009).

3.2. Coğrafya İklim ve Yerel Kaynakların Ham Deri Seçimine Etkisi

Ham deri seçimi ve işlenmesi süreci, üretimin gerçekleştirildiği coğrafyanın iklimsel, ekolojik ve ekonomik koşullarından bağımsız değildir. Geleneksel davul derisi üretimi, büyük ölçüde yerel hayvancılık pratiklerine ve bölgesel malzeme erişimine bağlı olarak şekillenmiştir. Bu durum, farklı coğrafyalarda üretilen davul derilerinin yapısal ve tınısal özelliklerinde belirgin farklılıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur (Çelik, 2017; Mandaloğlu, 2011).

İklim koşulları, derinin kurutulma sürecini ve nemle kurduğu ilişkiyi doğrudan etkilemektedir. Daha kuru iklimlerde hazırlanan davul derileri, genellikle daha sert ve gergin bir yapıya sahip olurken; nemli bölgelerde işlenen deriler daha esnek ve yumuşak bir karakter sergileyebilmektedir. Bu durum, derinin çevresel koşullara verdiği tepkilerin üretim kararlarını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Geleneksel üretimde ustalar, bu çevresel değişkenleri dikkate alarak ham deri seçiminden germe ve kurutma aşamalarına kadar süreci buna göre uyarlamaktadır (Uzunkaya & Akbal, 2014).

Yerel kaynaklara erişim de ham deri seçimini belirleyen önemli bir faktördür. Belirli bölgelerde yaygın olan hayvan türleri, davul derisi üretiminde ön plana çıkmakta; bu durum, yerel ses estetiklerinin ve müzikal pratiklerin şekillenmesine katkı sağlamaktadır. Böylece ham deri seçimi, yalnızca teknik bir gereklilik değil; coğrafya, kültür ve müzik arasındaki ilişkinin somutlaştığı bir üretim pratiği hâline gelmektedir. Bu çerçevede geleneksel davul derisi üretimi, çevresel koşullara uyum sağlayarak gelişen, yerel bilgiyle biçimlenen ve kültürel sürekliliği

destekleyen bir zanaatkârlık alanı olarak değerlendirilmektedir (Gomez & Nelson, 2012; Eluyefa, 2011).

4. GELENEKSEL DAVUL DERİSİ İŞLEME TEKNİKLERİ

Geleneksel davul derisi üretiminde işleme teknikleri, derinin doğal yapısını korumayı ve ses üretimine uygun fiziksel özellikleri elde etmeyi amaçlayan düşük müdahaleli uygulamalar üzerine kuruludur. Bu teknikler, endüstriyel deri işleme süreçlerinden farklı olarak, kimyasal stabilite veya uzun raf ömrü hedeflerinden ziyade, derinin elastikiyeti, nefes alabilirliği ve tınısal tepkisini önceliklendirmektedir. Bu nedenle geleneksel üretimde kullanılan yöntemler, standartlaştırılmış formüllerden çok, deneyime dayalı kararlar ve ustalık bilgisiyle şekillenmektedir (Oral et al., 2022; Gök, 2025).

4.1. Doğal ve Düşük Müdahaleli Deri İşleme Yöntemleri

Geleneksel davul derisi üretiminde deri işleme süreci, kimyasal müdahalenin sınırlı tutulduğu ve derinin biyolojik yapısının mümkün olduğunca korunmasına dayanan uygulamalarla yürütülmektedir. Kromlu tabaklama gibi endüstriyel yöntemler yerine, kireçleme, doğal enzimatik yumuşatma ve mekanik temizleme gibi düşük müdahaleli işlemler tercih edilmektedir. Bu uygulamalar, derinin kollajen lif yapısının aşırı sertleşmesini önleyerek, ses üretimi için gerekli olan esnekliği muhafaza etmeyi amaçlamaktadır (Oral et al., 2022; Dirgar et al., 2023).

Kimyasal işlemlerin sınırlı kullanımı, davul derisinin nem değişimlerine verdiği doğal tepkilerin korunmasını da sağlamaktadır. Geleneksel üretimde, derinin çevresel koşullara duyarlılığı bir dezavantaj olarak değil; ses karakterini zenginleştiren bir özellik olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda doğal işleme yöntemleri, tınıda ortaya çıkan mikro değişkenlikleri mümkün kılarak, geleneksel müzik pratiklerinde aranan organik ses estetiğine katkı sunmaktadır (Gök, 2025; Toulson et al., 2009).

4.2. Germe Kurutma ve Yüzey Hazırlama Süreçleri

Davul derisi üretiminde germe ve kurutma aşamaları, ses üretimini doğrudan etkileyen kritik süreçler arasında yer almaktadır. Derinin kasnağa gerilme biçimi, uygulanan gerilim miktarı ve kurutma sürecinin süresi, davul derisinin nihai elastikiyetini ve rezonans özelliklerini belirlemektedir. Geleneksel üretimde bu aşamalar, ölçü aletlerinden ziyade ustanın deneyimine, dokunsal değerlendirmelerine ve görsel gözlemlerine dayalı olarak yürütülmektedir (Eluyefa, 2011; Uzunkaya & Akbal, 2014).

Kurutma süreci genellikle doğal ortam koşullarında gerçekleştirilmekte; güneş ışığı, hava akımı ve ortam nemi gibi faktörler ustalık bilgisi doğrultusunda kontrol edilmektedir. Hızlı ve yapay kurutma yöntemlerinden kaçınılması, derinin ani sertleşmesini önleyerek daha dengeli bir lif yapısı elde edilmesini sağlamaktadır. Bu durum, davul derisinin hem dayanıklılığını hem de tınısal istikrarını olumlu yönde etkilemektedir (Oral et al., 2022).

Yüzey hazırlama aşaması ise derinin kalınlığının dengelenmesi, pürüzlerin giderilmesi ve ses üretimine uygun bir yüzey elde edilmesini kapsamaktadır. Geleneksel üretimde bu işlemler çoğunlukla mekanik yöntemlerle ve sınırlı müdahalelerle gerçekleştirilmektedir. Ustalar, derinin yüzey dokusunu değerlendirerek gerektiğinde lokal düzeltmeler yapmakta; bu süreçte

elde edilmek istenen ses karakteri temel belirleyici unsur olmaktadır. Bu yönüyle germe, kurutma ve yüzey hazırlama süreçleri, davul derisi üretiminde teknik uygulamalar kadar estetik ve müzikal kararları da içeren bütüncül bir üretim pratiği olarak değerlendirilmektedir (Gomez & Nelson, 2012; Hartigan, 1995).

5. DAVUL DERİSİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Davul derisinin yapısal özellikleri, ses üretiminin fiziksel temellerini oluşturmakta ve elde edilen tınısal karakter üzerinde doğrudan belirleyici olmaktadır. Derinin kalınlığı, elastik davranışı, kollajen liflerin düzeni ve çevresel koşullara verdiği tepkiler, davul derisinin titreşim özelliklerini şekillendiren başlıca unsurlar arasında yer almaktadır. Geleneksel davul derisi üretiminde bu yapısal özellikler, standart ölçütlerden ziyade ustalık bilgisi ve deneyime dayalı değerlendirmelerle kontrol edilmektedir. Bu durum, davul derisinin her bir örneğinin kendine özgü bir ses karakteri taşımasına neden olmaktadır (Gök, 2025; Oral et al., 2022).

5.1. Kalınlık Elastikiyet ve Kollajen Lif Düzeni

Davul derisinin kalınlığı, titreşim frekansı ve sesin hacmi üzerinde doğrudan etkilidir. Daha kalın deriler genellikle daha düşük frekanslı, tok ve güçlü sesler üretirken; ince deriler daha yüksek frekanslı, parlak ve duyarlı tınılar sunmaktadır. Ancak kalınlık tek başına belirleyici değildir; derinin elastikiyeti ve kollajen liflerin yönelimi, titreşimin yüzey boyunca nasıl yayıldığını belirleyen kritik faktörlerdir. Kollajen liflerin homojen ve düzenli bir yapı göstermesi, titreşimin daha dengeli dağılmasına olanak tanırken; düzensiz lif yapıları daha karmaşık ve öngörülemez ses karakterleri ortaya çıkarabilmektedir (Gök, 2025; Eden & İmik, 2024).

Elastikiyet, davul derisinin uygulanan gerilime verdiği tepkiyle doğrudan ilişkilidir. Geleneksel üretimde, derinin elastik davranışı ölçüm cihazlarıyla değil; germe sırasında gösterdiği direnç, yüzeyde oluşan gerilim dağılımı ve dokunsal geri bildirimler aracılığıyla değerlendirilir. Ustalar, derinin “fazla sert” ya da “fazla gevşek” davranışlarını deneyim yoluyla ayırt edebilmekte ve bu doğrultuda üretim sürecini yönlendirmektedir. Bu yaklaşım, davul derisi üretiminde teknik bilgi ile sezgisel değerlendirmenin iç içe geçtiğini göstermektedir (Toulson et al., 2009).

Kollajen lif düzeni, derinin titreşim sırasında gösterdiği mikro davranışları belirleyen temel yapısal unsurlardan biridir. Liflerin yoğunluğu, yönelimi ve bağlanma biçimi, sesin sürekliliği (sustain), atak karakteri ve rezonans özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Geleneksel üretimde lif yapısının homojenliği, çoğunlukla ham deri seçimi ve yüzey hazırlama aşamalarında yapılan gözlemsel değerlendirmelerle sağlanmaktadır. Bu durum, yapısal özelliklerin üretimin erken aşamalarında belirlenmeye başladığını ortaya koymaktadır (Oral et al., 2022; Dirgar et al., 2023).

5.2. Nem Duyarlılığı ve Çevresel Değişkenlik

Davul derisinin en ayırt edici yapısal özelliklerinden biri, çevresel nem ve sıcaklık değişimlerine karşı yüksek duyarlılık göstermesidir. Hayvansal kökenli deriler, higroskopik yapıları nedeniyle ortam nemini absorbe etmekte veya serbest bırakmakta; bu durum derinin gerginliğini ve dolayısıyla ses karakterini doğrudan etkilemektedir. Geleneksel müzik

pratiklerinde bu özellik, çoğu zaman bir sorun olarak değil; sesin canlılığını ve değişkenliğini artıran bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Gök, 2025; Hartigan, 1995).

Nem oranındaki artış, davul derisinin yumuşamasına ve gerginliğin azalmasına yol açarak sesin daha boğuk ve düşük frekanslı algılanmasına neden olabilirken; kuru koşullar derinin sertleşmesine ve daha parlak, keskin bir tını üretmesine zemin hazırlamaktadır. Geleneksel üretimde ustalar, bu çevresel değişkenleri dikkate alarak deri seçimi, germe miktarı ve kurutma süresi gibi kararları önceden planlamaktadır. Bu durum, çevresel koşulların üretim sürecinin ayrılmaz bir parçası olarak görüldüğünü göstermektedir (Uzunkaya & Akbal, 2014).

Çevresel değişkenliğe duyarlılık, davul derisinin standartlaştırılmasını zorlaştıran bir faktör olmakla birlikte, geleneksel üretim açısından estetik bir değer taşımaktadır. Her performans koşulunda sesin küçük değişimler göstermesi, müzikal ifadeye özgünlük ve canlılık kazandırmaktadır. Bu bağlamda davul derisinin yapısal özellikleri, yalnızca fiziksel parametreler olarak değil; kültürel ses estetiğinin oluşumuna katkı sağlayan dinamik unsurlar olarak değerlendirilmelidir (Gomez & Nelson, 2012; Price, 2013).

6. GELENEKSEL DAVUL DERİSİNİN TINISAL ÖZELLİKLERİ

Geleneksel davul derisinin tınısal özellikleri, derinin yapısal bileşenleri ile üretim sürecinde uygulanan işlemlerin birleşimi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Kalınlık, elastikiyet, kollajen lif düzeni ve çevresel koşullara duyarlılık gibi yapısal özellikler, titreşimin yüzey boyunca yayılma biçimini belirleyerek sesin karakterini doğrudan etkilemektedir. Geleneksel üretimde bu tınısal sonuçlar, ölçülebilir akustik parametreler üzerinden değil; işitsel deneyim, performans bağlamı ve kültürel beklentiler doğrultusunda değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, geleneksel davul derisinin ses üretiminde teknik kararlılıktan ziyade ifade zenginliğini ve değişkenliği ön plana çıkardığını göstermektedir (Toulson et al., 2009; Gök, 2025).

6.1. Yapısal Değişkenliğin Ses Karakterine Etkisi

Geleneksel davul derilerinde yapısal değişkenlik, ses karakterinin organik ve öngörülemeyen biçimde şekillenmesine neden olmaktadır. Doğal hayvansal deriler, endüstriyel malzemelerden farklı olarak homojen bir yapı sergilememekte; her bir deri parçası, lif yoğunluğu, kalınlık dağılımı ve elastik tepkiler açısından kendine özgü özellikler taşımaktadır. Bu durum, davul derisinin titreşim davranışında mikro farklılıklar yaratarak, sesin atak, sustain ve rezonans özelliklerinde çeşitliliğe yol açmaktadır (Eden & İmik, 2024; Oral et al., 2022).

Bu yapısal çeşitlilik, geleneksel müzik pratiklerinde çoğu zaman bir kusur olarak değil; sesin canlılığını ve ifade gücünü artıran bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Aynı davulun farklı icra koşullarında farklı tınılar üretmesi, müzikal ifadenin dinamik ve bağlamsal niteliğini güçlendirmektedir. Geleneksel üretimde ustalar, bu değişkenliği kontrol etmeye çalışmaktan ziyade, belirli sınırlar içerisinde yönlendirmeyi tercih etmekte; böylece davul derisinin doğal karakteri korunmaktadır (Hartigan, 1995; Price, 2013).

Organik ve öngörülemeyen tını özellikleri, geleneksel davul derisini standartlaştırılmış ses beklentilerinden ayıran temel unsurlardan biridir. Endüstriyel üretimde hedeflenen ses tutarlılığına karşılık, geleneksel davul derisi üretimi, sesin çevresel koşullara ve icracının müdahalesine açık olmasını estetik bir değer olarak kabul etmektedir. Bu yaklaşım, tınıyı sabit

bir çıktıdan ziyade, performans sürecinde yeniden şekillenen bir olgu olarak ele almaktadır (Toulson et al., 2009).

6.2. Geleneksel Ses Estetiği ve Kültürel Beklentiler

Geleneksel davul derisinin tınısal özellikleri, yalnızca fiziksel ve akustik parametrelerle değil; kültürel olarak şekillenen ses estetiği ve müzikal beklentilerle de yakından ilişkilidir. Farklı kültürlerde davuldan beklenen ses karakteri, ritüelin, törenin ya da icra bağlamının niteliğine göre değişkenlik göstermektedir. Bu bağlamda doğal davul derileri, sundukları organik ve değişken tını özellikleri sayesinde, kültürel beklentilere uyum sağlayabilen esnek bir ses üretim yüzeyi olarak değerlendirilmektedir (Gomez & Nelson, 2012; Durojaye, 2017).

Doğal deriye atfedilen müzikal değerler, çoğu zaman "canlılık", "derinlik" ve "doğallık" gibi kavramlarla ifade edilmektedir. Bu değerler, sesin yalnızca işitsel bir çıktı olarak değil; kültürel anlam taşıyan bir deneyim olarak algılanmasıyla ilişkilidir. Geleneksel davul derisi, bu yönüyle müzikal ifadenin teknik sınırlarını aşarak, kültürel kimliğin ve kolektif belleğin bir parçası hâline gelmektedir (Hartigan, 1995; Gomez & Nelson, 2012).

Geleneksel ses estetiği, davul derisinin üretiminde alınan kararları da doğrudan etkilemektedir. Ustalar, belirli bir kültürel bağlamda kabul gören ses karakterini hedefleyerek ham deri seçimi, işleme yöntemleri ve germe düzeylerini buna göre belirlemektedir. Bu durum, tınısal beklentilerin üretim sürecine gömülü olduğunu ve davul derisi üretiminin kültürel kodlarla iç içe geçtiğini göstermektedir. Dolayısıyla geleneksel davul derisinin tınısal özellikleri, teknik üretim süreçleri kadar, kültürel süreklilik ve estetik anlayışın da bir yansıması olarak ele alınmalıdır (Gök, 2025; Eluyefa, 2011).

7. DAVUL DERİSİ ÜRETİMİNDE USTA ÇIRAK İLİŞKİSİ

Geleneksel davul derisi üretiminde usta–çırak ilişkisi, teknik bilginin aktarımının ötesinde, üretim pratiğine gömülü kültürel ve estetik değerlerin kuşaklar arasında sürdürülmesini sağlayan temel bir mekanizma olarak öne çıkmaktadır. Davul derisinin ham hâlden ses üretimine uygun bir yüzeye dönüşmesi sürecinde alınan kararlar, yazılı kurallara ya da standartlaştırılmış ölçütlere dayanmak yerine, büyük ölçüde deneyime, sezgiye ve uygulamalı öğrenmeye dayanmaktadır. Bu nedenle davul derisi üretimi, usta–çırak ilişkisi olmaksızın sürdürülebilirliğini korumakta zorlanan bir zanaatkârlık alanı olarak değerlendirilmektedir (Eluyefa, 2011; Göher, t.y.).

7.1. Deneyimsel Bilginin Aktarımı

Davul derisi üretiminde deneyimsel bilgi, çoğu zaman sözel açıklamalardan ziyade gözlem, tekrar ve doğrudan uygulama yoluyla aktarılmaktadır. Derinin hangi aşamada yeterince yumuşadığının anlaşılması, germe sırasında uygulanacak kuvvetin ayarlanması ya da kurutma sürecinin ne zaman sonlandırılacağı gibi kararlar, ölçülebilir parametrelerden çok ustanın birikimine dayanmaktadır. Çıraklar, bu bilgiyi soyut tanımlar aracılığıyla değil; üretim sürecine aktif biçimde katılarak ve ustanın müdahalelerini gözlemleyerek içselleştirmektedir. Bu durum, davul derisi üretiminde bilginin bedensel ve duyusal bir nitelik taşıdığını göstermektedir (Eluyefa, 2011; Uzunkaya & Akbal, 2014).

Deneyimsel bilginin aktarımı, davul derisinin tınısal özelliklerine ilişkin beklentileri de kapsamaktadır. Ustalar, belirli bir ses karakterini hedefleyerek üretim sürecini yönlendirmekte; bu hedef, çırak tarafından zaman içerisinde işitsel referanslar aracılığıyla öğrenilmektedir. Böylece davul derisinin nasıl "iyi" ya da "uygun" bir ses üretmesi gerektiğine ilişkin kültürel ölçütler, üretim pratiği içerisinde aktarılmaktadır. Bu süreç, davul derisi üretimini yalnızca teknik bir beceri alanı olmaktan çıkararak, estetik bir öğrenme alanına dönüştürmektedir (Hartigan, 1995; Price, 2013).

7.2. Zanaatkârlığın Kültürel Süreklilikteki Rolü

Usta–çırak ilişkisi, davul derisi üretiminin kültürel süreklilik içerisindeki konumunu belirleyen en önemli unsurlardan biridir. Bu ilişki aracılığıyla aktarılan bilgi, yalnızca üretim tekniklerini değil; üretimin anlamını, değerini ve kültürel bağlamını da kapsamaktadır. Davul derisi, bu bağlamda, bir malzeme olmaktan ziyade, kültürel hafızanın ve müzikal geleneğin taşıyıcısı hâline gelmektedir. Zanaatkârlık pratiği, bu hafızanın korunmasını ve yeniden üretilmesini mümkün kılmaktadır (Gomez & Nelson, 2012; Döndü, 2013).

Modern üretim tekniklerinin ve sentetik davul derilerinin yaygınlaşması, usta–çırak ilişkisine dayalı bu bilgi aktarım biçimini zorlayan bir etki yaratmaktadır. Ancak geleneksel davul derisi üretimi, belirli müzikal ve kültürel bağlamlarda hâlen tercih edilmekte; bu tercih, zanaatkârlık bilgisinin güncelliğini koruduğunu göstermektedir. Usta–çırak ilişkisi, bu yönüyle geleneksel üretimi geçmişe ait bir uygulama olmaktan çıkararak, yaşayan bir kültürel süreç hâline getirmektedir (Gomez & Nelson, 2012; Çelik, 2017).

Sonuç olarak davul derisi üretiminde usta–çırak ilişkisi, deneyimsel bilginin aktarımını mümkün kılan bir öğrenme modeli olmanın yanı sıra, kültürel sürekliliğin somutlaştığı bir yapı olarak değerlendirilmektedir. Bu ilişki, davul derisinin üretiminde teknik kararlar kadar, ses estetiği, müzikal beklentiler ve kültürel değerlerin de kuşaklar boyunca korunmasını sağlamaktadır. Bu nedenle usta–çırak ilişkisi, geleneksel davul derisi üretiminin sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez bir unsur olarak ele alınmalıdır.

8. MODERNLEŞME SÜRECİNDE GELENEKSEL DAVUL DERİSİ ÜRETİMİ

Modernleşme süreci, davul derisi üretiminde kullanılan malzemelerden üretim tekniklerine, bilgi aktarım biçimlerinden ses estetiğine kadar çok katmanlı bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Endüstriyel üretim anlayışı, davul derisinin daha öngörülebilir, dayanıklı ve standartlaştırılmış özellikler göstermesini hedeflerken; geleneksel üretim, malzemenin doğal değişkenliğini ve ustalık bilgisine dayalı esnekliği korumaya odaklanmaktadır. Bu karşıtlık, davul derisi üretiminin yalnızca teknik bir mesele değil; aynı zamanda kültürel değerler ve estetik tercihler üzerinden şekillenen bir alan olduğunu ortaya koymaktadır (Hartigan, 1995; Gök, 2025).

8.1. Endüstriyel ve Sentetik Davul Derileriyle Karşılaşma

Endüstriyel üretim tekniklerinin gelişmesiyle birlikte sentetik davul derileri, ses üretiminde kararlılık, çevresel koşullara direnç ve seri üretim avantajları sunarak yaygınlaşmıştır. Bu deriler, nem ve sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenmeleri sayesinde performans sırasında daha öngörülebilir bir ses üretimi sağlamaktadır. Ayrıca endüstriyel üretimde kullanılan

sentetik malzemeler, standart kalınlık ve gerilim özellikleriyle üretim sürecinin kontrol edilebilirliğini artırmaktadır (Eden & İmik, 2024; Nural & Eden, 2024).

Bununla birlikte sentetik davul derilerinin sunduğu teknik avantajlar, geleneksel davul derisinin sahip olduğu organik tını çeşitliliğini ve yapısal zenginliği büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır. Endüstriyel üretimde hedeflenen ses tutarlılığı, geleneksel müzik pratiklerinde değer verilen mikro tını farklılıklarını ve çevresel koşullara duyarlı ses karakterini sınırlamaktadır. Bu durum, geleneksel davul derisinin sunduğu estetik değerlerin, modern üretim anlayışı içerisinde ikincil hâle gelmesine yol açmaktadır (Toulson et al., 2009; Gök, 2025).

Endüstriyel ve sentetik davul derileriyle karşılaşma, geleneksel üretim bilgisinin aktarımını da etkilemiştir. Standartlaştırılmış üretim süreçleri, usta–çırak ilişkisine dayalı deneyimsel bilgi aktarımının önemini azaltmakta; bu durum geleneksel zanaatkârlık pratiklerinin sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır. Ancak bu karşılaşma, geleneksel üretimin tamamen ortadan kalktığı anlamına gelmemekte; aksine belirli müzikal ve kültürel bağlamlarda doğal davul derilerine yönelik bilinçli bir tercihin ortaya çıkmasına da zemin hazırlamaktadır (Gomez & Nelson, 2012).

8.2. Geleneksel Davul Derisi Üretiminin Korunması Sorunu

Geleneksel davul derisi üretiminin korunması sorunu, yalnızca teknik üretim süreçlerinin devamlılığıyla sınırlı değildir. Asıl mesele, bu üretim pratiğine gömülü olan ustalık bilgisi, ses estetiği ve kültürel anlam katmanlarının sürdürülebilirliğidir. Davul derisinin nasıl bir ses üretmesi gerektiğine ilişkin kültürel beklentiler, üretim pratiğiyle birlikte aktarılmakta; bu aktarımın kesintiye uğraması, müzikal geleneğin işitsel sürekliliğini de doğrudan etkilemektedir (Eluyefa, 2011; Döndü, 2013).

Bu bağlamda geleneksel davul derisi üretimi, somut olmayan kültürel miras çerçevesinde ele alınması gereken bir zanaatkârlık alanı olarak öne çıkmaktadır. Zanaatkârların bilgi ve deneyimlerinin belgelenmesi, usta–çırak temelli öğrenme modellerinin desteklenmesi ve geleneksel üretimin kültürel miras politikaları kapsamında değerlendirilmesi, bu pratiğin sürdürülebilirliğine katkı sağlayabilecek temel yaklaşımlar arasında yer almaktadır (Gomez & Nelson, 2012; Dirgar et al., 2023).

Ayrıca müzisyenler, enstrüman yapımcıları ve kültürel kurumlar arasındaki işbirlikleri, geleneksel davul derisi üretiminin çağdaş bağlamlarda yeniden değer kazanmasına olanak tanıyabilir. Geleneksel üretimin modern üretim karşısında bir “alternatif” olarak değil; farklı estetik ve kültürel beklentilere yanıt veren özgün bir yaklaşım olarak ele alınması, bu zanaatkârlık alanının geleceği açısından kritik öneme sahiptir. Bu yaklaşım, geleneksel davul derisi üretiminin kültürel süreklilik içerisinde yeniden konumlandırılmasını mümkün kılmaktadır (Çelik, 2017; Gök, 2025).

9. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, geleneksel davul derisi üretimini teknik bir imalat faaliyeti olmanın ötesinde, kültürel süreklilik ve müzikal anlam üretimiyle iç içe geçmiş çok katmanlı bir pratik olarak ele almayı amaçlamıştır. Makale kapsamında yürütülen kavramsal ve literatüre dayalı inceleme, bu amaca ulaşıldığını göstermektedir. Davul derisinin üretiminde ham deri seçimi, işleme

teknikleri, yapısal özellikler, tınısal sonuçlar ve bilgi aktarım biçimleri arasında kurulan ilişkiler, geleneksel üretimin yalnızca "nasıl" değil, aynı zamanda "neden" sürdürüldüğünü ortaya koymuştur.

Çalışmanın temel çıktılarından biri, davul derisinin ses üretimindeki belirleyici rolünün yalnızca fiziksel parametrelerle açıklanamayacağını göstermesidir. Derinin kalınlığı, elastikiyeti, kollajen lif düzeni ve çevresel koşullara duyarlılığı gibi yapısal özellikler, üretim sürecine gömülü ustalık bilgisiyle birlikte değerlendirildiğinde, geleneksel davul derisinin sunduğu organik ve değişken tını karakterinin anlaşılabildiği görülmüştür. Bu durum, geleneksel üretimin teknik standartlaşmadan bilinçli biçimde uzak durmasının estetik ve kültürel bir tercih olduğunu ortaya koymaktadır.

Bir diğer önemli çıktı, geleneksel davul derisi üretiminde usta–çırak ilişkisine dayalı bilgi aktarımının merkezi rolüdür. Çalışma, deneyimsel bilginin yazılı kurallardan ziyade uygulama, gözlem ve işitsel değerlendirme yoluyla aktarıldığını; bu aktarımın yalnızca teknik becerileri değil, ses estetiğine ilişkin kültürel beklentileri de kapsadığını göstermiştir. Bu yönüyle davul derisi üretimi, somut olmayan kültürel mirasın canlı bir örneği olarak değerlendirilmelidir.

Modernleşme ve endüstriyel üretim süreçlerinin etkileri incelendiğinde ise, sentetik davul derilerinin sunduğu teknik avantajlara rağmen, geleneksel davul derisi üretiminin belirli müzikal ve kültürel bağlamlarda varlığını koruduğu ortaya konmuştur. Standartlaşmış ve öngörülebilir ses üretimi ile organik ve bağlamsal tını anlayışı arasındaki fark, geleneksel üretimin günümüzde bir "alternatif" değil, farklı estetik ve kültürel beklentilere yanıt veren özgün bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, geleneksel davul derisi üretiminin kültürel süreklilik açısından taşıdığı önemi açık biçimde ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, bu üretim pratiğinin korunmasının yalnızca teknik bilgiyle sınırlı olmadığını; ustalık bilgisinin belgelenmesi, aktarım modellerinin desteklenmesi ve kültürel miras politikalarıyla ilişkilendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Gelecekte yapılacak çalışmaların, geleneksel davul derisi üretimini disiplinlerarası yaklaşımlarla ele alması; malzeme bilgisi, müzik, kültür ve sürdürülebilirlik eksenlerinde yeni değerlendirmeler sunması, bu alandaki bilgi birikimini daha da derinleştirecektir.

KAYNAKÇA

Çelik, S. (2017). Türk kültüründe geçmişten günümüze davul. İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 6(8), 11–18.

Dirgar, E., Oral, O., Boz, S., & İlleezz, Ö. Ü. A. A. (2023). Sürdürülebilir deri alternatifleri: Vegan deriler. Ankara: İksad Yayınları.

Döndü, C. (2013). Mersin Abdalları örneklemiyle kültürün halk sanatları yaşatılarak aktarılmasında Abdal topluluğu. Bilim ve Kültür, (01), 214–228.

Durojaye, C. (2017). African drumming: The history and continuity of African drumming traditions. African Music: Journal of the International Library of African Music, 10(3), 170–173.

Eden, A., & İmik, O. H. (2024). Sentetik davul derilerinin yapısal farklılıklarının tınısal etkileri: Tek kat ve çift kat karşılaştırması. İnönü Üniversitesi Kültür ve Sanat Dergisi, 9(2), 200–211.

Eluyefa, D. O. (2011). Recontextualisation of the dùndún drumming tradition in Hampshire (Doctoral dissertation). University of Winchester.

Gök, M. O. (2025). Davullarda kullanılan deriler ve derilerin müzikteki önemi. Ases Ulusal Sosyal Bilimler Dergisi, 5(1), 349–359.

Gomez, A., & Nelson, L. K. (2012). Drum culture: Capturing, connecting and transmitting an African legacy in Grenada. Latin American and Caribbean Ethnic Studies, 7(3), 321–346. https://doi.org/10.1080/17442222.2012.689291

Göher, F. (t.y.). Bir çalgıya saklanan mitik kökler: Göstergeler dünyasında kam davulu. III. Uluslararası Develi-Âşık Seyrânî ve Türk Kültürü Kongresi Bildirileri, 67–75.

Hartigan, R. (1995). The heritage of the drumset. African American Review, 29(2), 234–236.

Mandaloğlu, M. (2011). Türk kültür çevresinde şamanizm ve şamanlık meselesi. TSA, 15(3), 1–20.

Nural, Ö. A., & Eden, A. (2024). Davul için tam otomatik bir akort sisteminin tasarım ve optimizasyon süreçlerinin incelenmesi. Konservatoryum, 11(1), 251–263.

Oral, O., Dirgar, E., & İlleezz, Ö. Ü. A. A. (2022). Deri saraciye ürünleri ve özellikleri. Ankara: İksad Yayınları.

Price, T. Y. (2013). Rhythms of culture: Djembe and African memory in African-American cultural traditions. Black Music Research Journal, 33(2), 227–247.

Toulson, R., Crigny, C. C., Robinson, P., & Richardson, P. (2009). The perception and importance of drum tuning in live performance and music production. The Journal on the Art of Record Production, 4.

Uzunkaya, E., & Akbal, Ö. (2014). Türk halk danslarının icrasında bir asma davul geleneği: Ayağa çalma. Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi, (44), 1–15.

ENVIRONMENTAL AWARENESS, ENVIRONMENTAL CONSCIOUSNESS AND SUSTAINABLE LIFESTYLES

Melike YALILI KILIÇ[1], Beyza BAYIRLI[2], Rüveyda ARAN[3]

[1]Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, ORCID ID: 0000-0001-7050-6742

[2]Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, ORCID ID: 0009-0004-8176-3516

[3]Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, ORCID ID: 0009-0003-3684-3288

ABSTRACT

Industrialization, urbanization, population growth, and the unsustainable use of natural resources have contributed to the global increase in environmental problems. Issues such as climate change, biodiversity loss, environmental pollution, and waste management challenges have made environmental awareness an increasingly important topic. Environmental awareness is a multidimensional concept that encompasses individuals' level of environmental knowledge, their attitudes toward environmental issues, and their daily environmental behaviors.

This study examines environmental awareness in light of recent literature. Factors influencing individuals' environmental behaviors were reviewed, including recycling habits, approaches to resource use, and sustainable consumption behaviors. In addition, the roles of social awareness, media, social environment, and institutional practices in promoting environmental consciousness were discussed. The reviewed studies indicate that environmental awareness is not limited to individual behaviors alone but also plays an important role in promoting sustainable lifestyles and supporting environmentally responsible practices.

Key words: Environmental awareness, environmental consciousness, environmental management, sustainability

1. INTRODUCTION

Industrialization, rapid population growth, urbanization, and the unplanned use of natural resources have made environmental problems increasingly visible on a global scale. Problems such as climate change, air and water pollution, biodiversity loss, and increasing amounts of waste directly affect not only ecosystems but also human life and social well-being. As environmental problems have become more serious, individuals' environmental knowledge, attitudes, and daily habits have gained greater importance (Fransson and Gärling, 1999).

Environmental awareness is considered a concept that encompasses individuals' knowledge of environmental problems, sensitivity toward the environment, and sense of responsibility for environmental protection. The literature indicates that environmental awareness involves not only having knowledge about the environment but also developing positive environmental

attitudes and behaviors (Kollmuss and Agyeman, 2002). Therefore, individual approaches to recycling, energy conservation, sustainable consumption, and the protection of natural resources are considered within the scope of environmental awareness (Vicente-Molina et al., 2013).

Social awareness is considered important in reducing environmental problems. A relationship has been reported between individuals' environmental knowledge and their environmental behaviors (Frick et al., 2004). Several studies in the literature have also identified a relationship between environmental knowledge and environmentally friendly behaviors (Mobley et al., 2010). Therefore, efforts to increase environmental awareness are important for promoting sustainable lifestyles.

Education is considered an important factor in the development of environmental awareness. Acquiring knowledge about environmental problems, developing environmental sensitivity, and adopting environmentally friendly habits in daily life are closely related to educational processes. Studies measuring environmental attitudes have shown that individuals' levels of environmental sensitivity are associated with various factors (Uzun and Sağlam, 2006). Environmental education has also been reported to be effective in developing environmental consciousness and positive attitudes toward the environment (Erten, 2004).

2. ENVIRONMENTAL AWARENESS AND ENVIRONMENTAL EDUCATION

Today, the increase in environmental problems has made it necessary for individuals to become more conscious of and sensitive to these issues. Environmental education is considered important in developing environmental consciousness and sensitivity among individuals. It is also emphasized that environmental education is not limited to the school environment but is a process that concerns different segments of society (Çetin and Yalçınkaya, 2018).

Environmental awareness is associated with individuals' recognition of environmental problems, development of environmental responsibility, and adoption of behaviors aimed at protecting the environment. In this context, recycling, energy conservation, conscious use of natural resources, and sustainable consumption habits are among environmentally friendly behaviors. Environmental education has an important role in developing positive attitudes toward the environment (Özbebek Tunç et al., 2012).

Studies in the literature have shown that environmental awareness levels may be influenced by various factors such as age, gender, education level, and social environment. Studies conducted with university students have examined environmental awareness and attitude levels in relation to various factors (Bostancıoğlu et al., 2017). In addition, individuals who are knowledgeable about environmental problems have been reported to be more likely to engage in practices such as recycling and energy conservation (Çelik et al., 2024).

3. SUSTAINABLE LIFESTYLES AND ENVIRONMENTAL AWARENESS

Sustainable living is based on the conscious use of natural resources and consideration of the needs of future generations. In recent years, as environmental problems have increased, the impacts of individuals' daily habits on the environment have received greater attention. Many factors, including energy and water consumption, transportation choices, waste generation, and consumption behaviors, are considered part of sustainable living. Therefore, environmental awareness is not limited to the level of knowledge but is also closely related to behaviors adopted in daily life (Ergin and Dal, 2023).

The reflection of sustainable living in daily life is closely related to individuals' consumption choices. The lifespan of purchased products, preference for reusable products, limiting unnecessary consumption, and efficient use of resources are considered sustainable consumption behaviors. The adoption of these behaviors is influenced not only by individuals' awareness of sustainability but also by their perceptions of the environmental impacts of their choices (Kırvanoğlu Altın and Kırçova, 2024).

Sustainable consumption behavior is not limited to product purchasing choices. Efficient use of resources, reducing unnecessary consumption, preference for reusable products, and saving habits are also included within this concept. These behaviors are associated with environmental awareness and reflect the integration of sustainable living into daily life (Ergin and Dal, 2023).

The main components of sustainable consumption behavior include environmental sensitivity, reducing unnecessary consumption, preference for reusable products, and saving habits. The relationship among these components is shown in Figure 1.

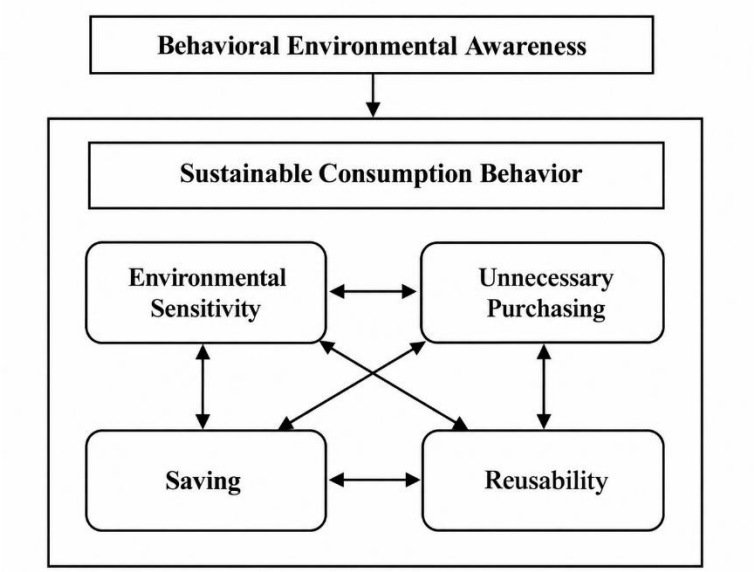


Figure 1. Components of Sustainable Consumption Behavior (Ergin and Dal, 2023)

4. SOCIAL AND INSTITUTIONAL APPROACHES TO DEVELOPING ENVIRONMENTAL AWARENESS

Developing environmental awareness is not limited to providing individuals with information about the environment. In addition to educational processes, the social environment in which individuals live also influences the development of environmental knowledge, attitudes, and behaviors. Therefore, environmental education should not be limited to activities carried out in schools, and awareness-raising activities in different areas of life should also be supported (Erten, 2004; Gülersoy et al., 2020).

Not only individuals but also public institutions and local governments have important responsibilities in developing environmental awareness. Since environmental problems often emerge at the local level, the role of municipalities and other local government bodies in addressing these problems has become more prominent. In particular, recycling practices, environmental clean-up activities, waste management, and environmental information activities contribute to raising environmental consciousness in society. Therefore, environmental protection efforts should involve not only individual actions but also institutional support and practices implemented at the local level (Çiftçioğlu and Aydın, 2019).

For environmental awareness to become widespread throughout society, it is important not only for individuals to have knowledge about environmental problems but also for these issues to receive public attention. Information activities on environmental problems, media, initiatives carried out by local governments, and public awareness activities contribute to the development of individuals' environmental awareness. Informing different segments of society about environmental problems and involving them in solution processes helps strengthen a sense of environmental responsibility. Therefore, both educational activities and awareness-raising efforts involving society as a whole are important for developing environmental awareness (Ağıralan and Sadioğlu, 2021).

5. CONCLUSIONS

As environmental problems continue to increase, developing environmental awareness has become a necessity. Environmental awareness involves not only having knowledge about environmental problems but also developing a sense of responsibility for environmental protection and reflecting this awareness in daily life.

In this paper, environmental awareness was addressed within the framework of environmental education, sustainable living, and social approaches. The studies reviewed show that environmental education plays an important role in developing environmental consciousness and sensitivity. However, environmental awareness is not limited to educational processes and is also influenced by individuals' social environments, daily experiences, and the social context in which they live.

One of the ways environmental awareness is reflected in daily life is through sustainable living. Recycling, energy and water conservation, conscious use of natural resources, and sustainable consumption habits are among the main elements of environmentally friendly behavior. The widespread adoption of these behaviors requires not only increased environmental knowledge and sensitivity but also the application of this knowledge in daily life.

In addition to educational activities, local governments, public institutions, media, and public awareness activities also make important contributions to developing environmental awareness. Therefore, efforts to address environmental problems should include practices that strengthen social participation and institutional support as well as individual efforts.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Program (Project No. 1919B012415481) and the Bursa Uludağ University Scientific Research Projects Unit through the Undergraduate Student Research Project (Project No. FLO-2025-2598).

REFERENCES

[1] Ağıralan, E., Sadioğlu, U. Climate Change Awareness and Public Consciousness: The Case of Istanbul, Anadolu University Journal of Social Sciences, 21(2), 627-654, 2021.

[2] Bostancıoğlu, D., Varol Saraçoğlu, G., Öztürk, M. Öğrencilerin çevre farkındalık ve tutum düzeyleri ve bunları etkileyen faktörlerin araştırılması, Akademik Bakış Dergisi, 60, 266-278, 2017.

[3] Çelik, A., Yılmaz Vural, G., Hassamancıoğlu, V.M., Erdoğdu, S., Oruç, E. Determination of Environmental Awareness Levels of Users of Tokat Gaziosmanpasa University Campus, COMU Journal of Agriculture Faculty, 12(2), 223-239, 2024. doi: 10.33202/comuagri.1490738

[4] Çetin, O., Yalçınkaya, E. A Scale Development Study Regarding Environmental Awareness, Journal of International Social Sciences Education, 4(1), 14-26, 2018.

[5] Çiftçioğlu, H., Aydın, A.H. Local Governments in Turkey and the importance Responsibilities and Role of Solutions of Environment Problems, Al-Farabi International Journal on Social Sciences, 3(1), 117-128, 2019.

[6] Ergin, R.G., Dal, N.E. A Research on the Effect of Behavioral Environmental Consciousness on Sustainable Consumption Behavior, Bilge Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 7(1), 28-53, 2023. doi: 10.47257/busad.1306912

[7] Erten, S. Çevre Eğitimi ve Çevre Bilinci Nedir, Çevre Eğitimi Nasıl Olmalıdır? Çevre ve İnsan Dergisi, 65(66), 1-13, 2004.

[8] Fransson, N., Gärling, T. Environmental Concern: Conceptual Definitions, Measurement Methods, and Research Findings, Journal of Environmental Psychology, 19(4), 369-382, 1999. https://doi.org/10.1006/jevp.1999.0141

[9] Frick, J., Kaiser, F.G., Wilson, M. Environmental Knowledge and Conservation Behavior: Exploring Prevalence and Structure in a Representative Sample, Personality and Individual Differences, 37(8), 1597-1613, 2004. https://doi.org/10.1016/j.paid.2004.02.015

[10] Gülersoy, A.E., Dülger, İ., Dursun, E., Ay, D., Duyal, D. What Kind of Environmental Education? Some Suggestions in the Context of Contemporary Approaches, Turkish Studies, 15(5), 2357-2398, 2020. https://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.44074

[11] Kırvanoğlu Altın, B., Kırçova, İ. Analyzing the Environmental, Social, and Economic Sustainability Consciousness and Perceived Customer Effectiveness in the Context of Sustainable Consumption, Business & Management Studies: An International Journal, 12(3), 571-599, 2024. doi: 10.15295/bmij.v12i3.2399

[12] Kollmuss, A., Agyeman, J. Mind the gap: Why do People Act Environmentally and what are the Barriers to Pro-environmental Behavior? Environmental Education Research, 8(3), 239-260, 2002. https://doi.org/10.1080/13504620220145401

[13] Mobley, C., Vagias, W.M., DeWard, S.L. Exploring Additional Determinants of Environmentally Responsible Behavior: The Influence of Environmental Literature and Environmental Attitudes, Environment and Behavior, 42(4), 420-447, 2010.

[14] Özbebek Tunç, A., Akdemir Ömür, G., Düren, A.Z. Çevresel farkındalık. İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 47, 227-246, 2012.

[15] Uzun, N., Sağlam, N. Development and Validation of an Environmental Attitudes Scale for High School Students, Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 30, 240-250, 2006.

[16] Vicente-Molina, M.A., Fernández-Sáinz, A., Izagirre-Olaizola, J. Environmental Knowledge and Other Variables Affecting Pro-environmental Behaviour: Comparison of University Students from Emerging and Advanced Countries, Journal of Cleaner Production, 61, 130-138, 2013. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.015

EXAMINING THE ENVIRONMENTAL AWARENESS LEVELS OF ADMINISTRATIVE STAFF

Melike YALILI KILIÇ[1], Beyza BAYIRLI[2], Rüveyda ARAN[3]

[1]Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, ORCID ID: 0000-0001-7050-6742

[2]Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, ORCID ID: 0009-0004-8176-3516

[3]Bursa Uludag University, Faculty of Engineering, ORCID ID: 0009-0003-3684-3288

ABSTRACT

Increasing environmental problems have highlighted the importance of individuals' environmental knowledge, attitudes, and behaviors. Although universities play an important role in implementing sustainability practices, most studies on environmental awareness have focused on students, while research involving administrative staff remains limited. This study aimed to examine the environmental awareness levels of administrative staff working at Bursa Uludag University. The study was conducted with the voluntary participation of 340 administrative staff members, and the data were evaluated using frequency and percentage distributions. The results showed that the majority of participants were willing to take personal responsibility for reducing environmental impacts, considered themselves environmentally conscious, and had positive attitudes toward environmental education activities. The findings indicate that the environmental awareness levels of administrative staff are generally high.

Key words: Environmental awareness, environmental education, sustainability, university campus, administrative staff

1. INTRODUCTION

Population growth, industrialization, urbanization, and the unconscious use of natural resources worldwide have led to an increase in environmental problems. Air and water pollution, depletion of natural resources, increasing amounts of waste, and deterioration of the ecological balance are among the major environmental problems today. The increasing impacts of environmental problems on human life have also increased the importance of environmental protection efforts. In this process, individuals' knowledge, attitudes, and behaviors toward the environment directly affect the success of efforts to protect the environment (Kurt Konakoğlu, 2020).

Individual responsibility has an important place in reducing environmental problems. Developing environmental sensitivity and adopting behaviors that contribute to environmental protection play an important role in addressing these problems. In this context, environmental awareness refers to individuals' recognition of environmental problems, development of an

understanding of their causes and consequences, and willingness to take responsibility for environmental protection. The development of environmental awareness contributes to environmentally responsible behaviors in daily life and supports efforts to solve environmental problems (Özbebek Tunç et al., 2012).

Education plays an important role in developing environmental awareness. Environmental education aims not only to provide individuals with knowledge about environmental problems but also to help them develop positive attitudes toward the environment and adopt behaviors that contribute to its protection. Raising environmentally sensitive individuals is one of the important components of efforts to solve environmental problems. Addressing environmental awareness through the dimensions of consciousness, attitude, and participation allows individuals' approaches to the environment to be evaluated more comprehensively (Erten, 2004; Çetin and Yalçınkaya, 2018).

Educational and working environments also have an important role in the development and maintenance of environmental awareness. Among these environments, universities stand out because of their populations and activities. Universities are institutions where large numbers of students and staff come together and where educational and research activities are carried out. Due to the number of students and staff, their physical infrastructure, and daily activities, universities are associated with environmental impacts arising from energy consumption, water use, and waste generation. Therefore, higher education institutions are important settings for implementing environmental practices and carrying out sustainability studies (Ağı Günerhan and Günerhan, 2016). The effectiveness of environmental practices at universities is related not only to technical infrastructure and administrative arrangements but also to the environmental approaches of campus users.

Numerous studies have been conducted to determine environmental awareness levels at universities. Studies carried out at different universities have examined students' environmental consciousness, attitudes, and sensitivity in terms of various variables. A study conducted at Kocaeli University evaluated students' environmental attitudes and behaviors and investigated the effects of environmental education and demographic characteristics on their environmental approaches (Kanbak, 2015). Similarly, a study conducted at Ondokuz Mayıs University examined students' levels of environmental consciousness and found that female students had higher environmental consciousness scores than male students (Gül et al., 2018). Another study conducted at Mardin Artuklu University evaluated students' levels of environmental sensitivity and emphasized the importance of environmental education in developing environmental sensitivity (Gültekin, 2017).

Some studies conducted on university campuses have also included academic and administrative staff in addition to students. A study conducted on the Tokat Gaziosmanpaşa University campus evaluated the environmental attitudes and behaviors of students, academic staff, and administrative staff. The results showed that environmental attitudes and awareness levels may vary according to age, education level, and participant groups (Çelik et al., 2024).

This study was conducted to determine the environmental awareness levels of administrative staff working at Bursa Uludağ University. The study aimed to assess the environmental knowledge, attitudes, and behaviors of administrative staff and determine their levels of environmental awareness.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, a questionnaire was administered to determine the environmental awareness levels of administrative staff working at Bursa Uludağ University. The study was conducted with the voluntary participation of 340 administrative staff members. The questionnaire consisted of questions designed to determine the participants' demographic characteristics as well as their knowledge, attitudes, and behaviors toward the environment. The data obtained were evaluated using frequency and percentage distributions.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This study examined the environmental awareness levels of administrative staff and their views on taking environmental responsibility. The findings indicate that the participants generally had a high level of environmental awareness and were willing to take individual responsibility for reducing environmental problems.

The participants' views on taking individual responsibility for reducing environmental impacts are presented in Figure 1. Among the administrative staff who participated in the study, 68.2% stated that they were willing to make a personal effort to reduce environmental impacts, while 27.9% reported that they paid attention to certain environmental issues. In contrast, 1.8% stated that they generally did not consider issues related to reducing environmental impacts, and 2.1% reported that they were not interested in such issues. These results show that the majority of the participants were willing to take individual responsibility for reducing environmental problems. Similarly, Çelik et al. (2024), in their study involving users of the Tokat Gaziosmanpaşa University campus, found that awareness of environmental problems and individual measures increased with the level of education. This finding supports the importance of individual contribution and awareness in reducing environmental problems.

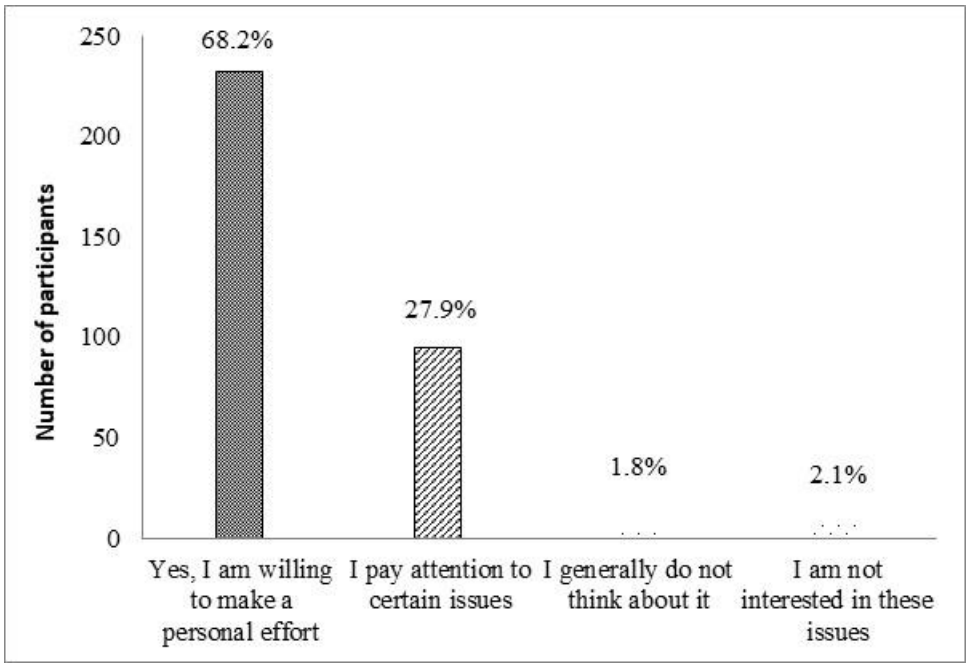


Figure 1. Participants' willingness to take individual responsibility for reducing environmental impacts

The participants' assessments of their individual environmental awareness levels are presented in Figure 2. Among the administrative staff participating in the study, 65% stated that they were sensitive to environmental issues and acted consciously, while 31.7% reported a moderate level of interest in environmental issues. The proportion of participants who reported a low level of interest in environmental issues was 2.1%, while 1.2% stated that they had no interest in such issues. The results show that the majority of the participants were sensitive to environmental issues and generally had high levels of environmental awareness. These results are consistent with the findings of Çelik et al. (2024), who examined environmental awareness among university campus users. Their study found that 55.3% of the participants had a good or comprehensive level of knowledge about environmental problems, while 29.7% had some knowledge. In contrast, Gültekin (2017) reported a moderate level of environmental sensitivity among university students. In the present study, 65% of the administrative staff considered themselves sensitive to and conscious of environmental issues, indicating a high level of environmental awareness in the study sample.

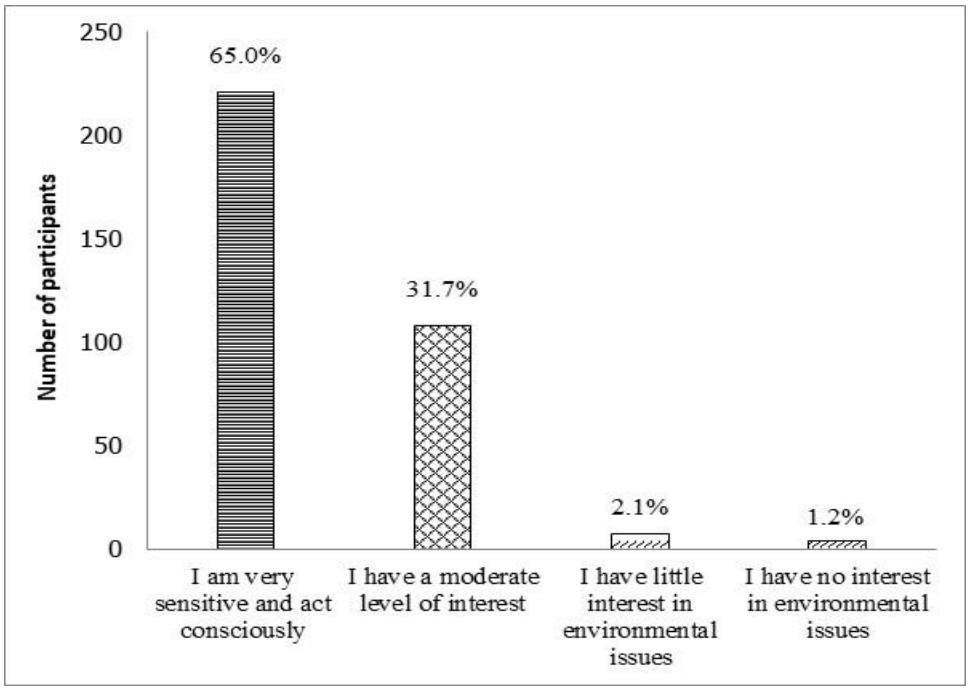


Figure 2. Participants' assessments of their individual environmental awareness levels

The participants' views on attending environmental training programs or seminars are presented in Figure 3. Among the administrative staff who participated in the study, 43.1% stated that they would definitely attend an environmental training program or seminar if one were organized, while 45.2% reported that they would attend if they found it interesting. In contrast, 5% of the participants stated that they would not consider attending such an event, while 6.7% were undecided. The results show that the majority of the participants had positive attitudes toward environmental training and awareness activities and were willing to participate in such events.

The role of environmental education in developing environmental consciousness has also been emphasized in the literature. Gül et al. (2018) stated that environmental education is important for developing environmental consciousness; however, they found no significant difference between the number of environmental courses taken by students and their level of environmental consciousness. They also emphasized that the quality of the courses is more important than the number of courses in environmental education. From this perspective, the positive attitude of 88.3% of the participants toward attending environmental training programs or seminars indicates considerable potential for developing high-quality environmental education and awareness activities within the university.

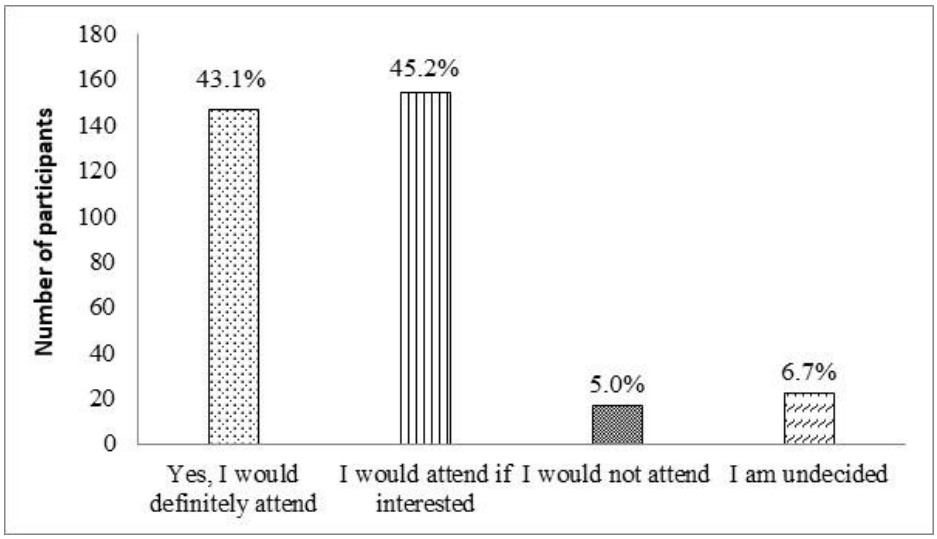


Figure 3. Participants' views on attending environmental education programs or seminars

Overall, the findings show that the administrative staff participating in the study had high levels of environmental awareness and were willing to take individual responsibility for reducing environmental impacts. In addition, the positive attitudes of the majority of the participants toward environmental education and awareness activities indicate that environmental education activities conducted within the university may receive support. These results show that sustainability efforts at universities are closely related not only to technical and administrative practices but also to employees' levels of environmental consciousness and participation.

4. CONCLUSIONS

In this study, the environmental awareness levels of administrative staff working at Bursa Uludağ University were examined. The findings showed that the majority of the participants were sensitive to environmental issues, willing to take individual responsibility for reducing environmental impacts, and had positive attitudes toward environmental education. The fact that a considerable proportion of the participants rated their environmental awareness levels as high and were willing to participate in environmental education activities indicates that environmental awareness studies to be carried out within the university may receive support.

Achieving sustainability goals at universities is closely related not only to technical infrastructure and administrative practices but also to employees' environmental knowledge, attitudes, and behaviors. Therefore, it is recommended to increase environmental education, information activities, and awareness programs for administrative staff. In addition, studies conducted at different universities and with larger participant groups may contribute to the comparative evaluation of environmental awareness levels.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Program (Project No. 1919B012415481) and the Bursa Uludağ University Scientific

Research Projects Unit through the Undergraduate Student Research Project (Project No. FLO-2025-2598).

REFERENCES

[1] Ağı Günerhan, S., Günerhan, H. The Model of a Sustainable University for Turkey, Mühendis ve Makina, 57(682), 54-62, 2016.

[2] Çelik, A., Yılmaz Vural, G., Hassamancıoğlu, V.M., Erdoğdu, S., Oruç, E. Determination of Environmental Awareness Levels of Users of Tokat Gaziosmanpasa University Campus, COMU Journal of Agriculture Faculty, 12(2), 223-239, 2024. doi: 10.33202/comuagri.1490738

[3] Çetin, O., Yalçınkaya, E. A Scale Development Study Regarding Environmental Awareness, Journal of International Social Sciences Education, 4(1), 14-26, 2018.

[4] Erten, S. Çevre Eğitimi ve Çevre Bilinci Nedir, Çevre Eğitimi Nasıl Olmalıdır? Çevre ve İnsan Dergisi, 65(66), 1-13, 2004.

[5] Gül, S., Aydoğmuş, M., Çobanoğlu, İ.H., Türk, H. Investigation of Environmental Consciousness of University Students: The Sample of Ondokuz Mayıs University, Gazi Journal of Education Sciences, 4(3), 13-28, 2018. doi: 10.30855/gjes.2018.04.03.002

[6] Gültekin, M.C. An Investigation into University Students' Environmental Sensitivity: The Sample of Mardin Artuklu University, Selcuk University Journal of Social and Technical Researches, 14, 172-185, 2017.

[7] Kanbak, A. Environmental Attitudes and Behaviors of College Students: A Case Study Conducted at a Kocaeli Üniversitesi, KOSBED, 30, 77-90, 2015.

[8] Kurt Konakoğlu, S.S. A Study for Determining the Level of Consciousness, Awareness and Sensitivity of University Students on Environmental Issues: The Case Study of the Department of Urban Design and Landscape Architecture at the Amasya University, Turkey, The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University, 11(2), 130-141, 2020. doi: 10.29048/makufebed.718232

[9] Özbebek Tunç, A., Akdemir Ömür, G., Düren, A.Z. Environmental Awareness, İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi, 47, 227-246, 2012.

EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF BOVINE TUBERCULOSIS IN EXTENSIVE CATTLE FARMING SYSTEMS OF THE MEDITERRANEAN REGION

Prof. Dr. Carlos Fernández-Delgado[1], Dr. María Isabel Romero-Vega[2], Javier Alonso Martín[1], Assoc. Prof. Dr. Lucía Sánchez Ortega[3]

[1]Complutense University of Madrid, Faculty of Veterinary Medicine, VISAVET Health Surveillance Centre, Madrid, Spain

[2]University of Córdoba, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Health, Córdoba, Spain

[3]University of Extremadura, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Health, Cáceres, Spain

ABSTRACT

Bovine tuberculosis, caused mainly by Mycobacterium bovis, remains one of the most important zoonotic and economically significant diseases affecting cattle in the Mediterranean region. Despite long-standing national eradication programs based on test-and-slaughter strategies, the disease persists in several areas, particularly in extensive farming systems where cattle graze over large territories and share pastures, water sources and feeding areas with wildlife species such as wild boar and red deer. These multi-host systems create complex transmission dynamics that limit the effectiveness of control measures focused exclusively on domestic animals. This study evaluates the epidemiological surveillance of bovine tuberculosis in extensive cattle farming systems of the Mediterranean region, with particular reference to the dehesa ecosystems of southwestern Spain. The research combines a retrospective analysis of official surveillance data from routine skin testing and interferon-gamma assays, post-mortem inspection at slaughterhouses and bacteriological culture, together with molecular typing of isolates by spoligotyping and the analysis of farm-level risk factors through structured questionnaires. Wildlife surveillance data obtained from hunted animals were also integrated into the analysis. The findings indicate that herd breakdowns were significantly associated with high densities of wild ungulates, shared use of water points, herd size, cattle movements between farms and the presence of other domestic species such as goats. Molecular typing revealed shared spoligotypes between cattle and wildlife, supporting the role of interspecies transmission in disease persistence. Limitations in the sensitivity of diagnostic tests and delays in removing infected animals were also identified. The study concludes that effective control of bovine tuberculosis in extensive systems requires an integrated One Health approach that combines strengthened cattle testing, wildlife management, biosecurity at the wildlife-livestock interface and close cooperation between veterinary services, farmers and hunters.

Keywords: Bovine tuberculosis, Mycobacterium bovis, epidemiological surveillance, extensive farming, wildlife-livestock interface

ANTIMICROBIAL RESISTANCE PATTERNS OF ESCHERICHIA COLI ISOLATED FROM POULTRY FLOCKS AND ITS PUBLIC HEALTH IMPLICATIONS

Assis. Prof. Dr. Antonio Ruiz Cabrera[1], Elena Gómez Navarro[2]
[1]University of Murcia, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Health, Murcia, Spain
[2]University of Zaragoza, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Pathology, Zaragoza, Spain

ABSTRACT

Antimicrobial resistance is recognized as one of the most serious global threats to human and animal health. The intensive use of antimicrobials in food-producing animals, particularly in poultry production, has been identified as a major driver of the emergence and spread of resistant bacteria. Escherichia coli, a common commensal of the avian intestinal tract and an important opportunistic pathogen, is widely used as an indicator organism for monitoring resistance because it can acquire and transfer resistance genes to other bacteria, including those that cause disease in humans. This study investigates the antimicrobial resistance patterns of Escherichia coli isolated from poultry flocks and discusses their public health implications. Cloacal swabs and environmental samples were collected from broiler and laying hen farms in Spain. Isolates were identified using standard microbiological methods, and their susceptibility to a panel of antimicrobials of veterinary and human importance was determined by the disk diffusion method and the determination of minimum inhibitory concentrations. Selected multidrug-resistant isolates were further examined by polymerase chain reaction for the presence of resistance genes, including those encoding extended-spectrum beta-lactamases. The findings revealed high levels of resistance to tetracyclines, ampicillin, sulfonamides and quinolones, and a considerable proportion of isolates showed multidrug resistance. Extended-spectrum beta-lactamase producing strains were also detected, raising concern about the transmission of resistant bacteria through the food chain and direct contact with animals. Resistance was more frequent in farms with greater antimicrobial use and weaker biosecurity practices. The study concludes that poultry represent an important reservoir of resistant Escherichia coli and highlights the need for prudent antimicrobial use, improved farm hygiene, continuous surveillance and a coordinated One Health strategy.

Keywords: Antimicrobial resistance, Escherichia coli, poultry, extended-spectrum beta-lactamase, One Health

PREVALENCE AND RISK FACTORS ASSOCIATED WITH GASTROINTESTINAL PARASITIC INFECTIONS IN SMALLHOLDER DAIRY CATTLE

Dr. Tesfaye Bekele Gebre[1], Prof. Dr. Almaz Hailu Wolde[2], Getachew Mulugeta Assefa[3]
[1]Addis Ababa University, College of Veterinary Medicine and Agriculture, Department of Pathology and Parasitology, Bishoftu, Ethiopia
[2]Haramaya University, College of Veterinary Medicine, Haramaya, Ethiopia
[3]Jimma University, College of Agriculture and Veterinary Medicine, School of Veterinary Medicine, Jimma, Ethiopia

ABSTRACT

Smallholder dairy farming plays a vital role in household income, nutrition and rural livelihoods in many developing countries. However, the productivity of dairy cattle in these systems is often constrained by disease, among which gastrointestinal parasitic infections are among the most widespread and economically important. Infections caused by nematodes such as Haemonchus, Trichostrongylus and Ostertagia, trematodes such as Fasciola and Paramphistomum, and protozoa such as Eimeria can result in reduced milk yield, weight loss, poor growth, impaired fertility and increased susceptibility to other diseases, although many infections remain subclinical and go unnoticed by farmers. This study determines the prevalence of gastrointestinal parasitic infections and identifies the associated risk factors in smallholder dairy cattle in central Ethiopia. A cross-sectional study was conducted in which fecal samples were collected from randomly selected cattle and examined using flotation, sedimentation and McMaster egg counting techniques. Information on animal characteristics and management practices was obtained through a structured questionnaire administered to farmers. The findings indicate that gastrointestinal parasites are highly prevalent, with strongyle-type nematodes being the most common, followed by Fasciola and Eimeria species. Mixed infections were frequently observed. Infection was significantly associated with the age of animals, body condition, grazing management, access to communal pastures and marshy areas, the rainy season and the absence of regular deworming. Young animals and those in poor body condition were found to be particularly vulnerable. The study concludes that gastrointestinal parasitism represents a major constraint on smallholder dairy productivity and recommends strategic deworming, improved grazing and housing management, farmer education and the careful use of anthelmintics to prevent the development of resistance.

Keywords: Gastrointestinal parasites, smallholder dairy cattle, prevalence, risk factors, Ethiopia

SEROPREVALENCE OF PESTE DES PETITS RUMINANTS VIRUS IN INDIGENOUS SHEEP AND GOAT POPULATIONS UNDER PASTORAL MANAGEMENT

Prof. Dr. Dawit Negash Kebede[1], Selamawit Bogale Fikru[2]
[1]University of Gondar, College of Veterinary Medicine and Animal Sciences, Department of Veterinary Epidemiology and Public Health, Gondar, Ethiopia
[2]Hawassa University, Faculty of Veterinary Medicine, Hawassa, Ethiopia

ABSTRACT

Peste des petits ruminants is a highly contagious viral disease of sheep and goats caused by a morbillivirus closely related to the rinderpest virus. The disease is characterized by fever, oral erosions, ocular and nasal discharge, pneumonia and diarrhea, and it can cause high morbidity and mortality, particularly in susceptible goat populations. In pastoral and agro-pastoral communities, where small ruminants are a key source of food, income and social security, outbreaks of peste des petits ruminants have serious consequences for livelihoods and food security. The disease has been targeted for global eradication, and reliable epidemiological information is essential for designing effective vaccination and control strategies. This study investigates the seroprevalence of peste des petits ruminants virus in indigenous sheep and goat populations under pastoral management in Ethiopia and identifies factors associated with seropositivity. A cross-sectional study was carried out in selected pastoral districts, where blood samples were collected from unvaccinated animals and tested for antibodies against the virus using a competitive enzyme-linked immunosorbent assay. Data on animal species, age, sex, flock size, mobility, contact with other flocks and access to veterinary services were gathered through questionnaires and interviews with pastoralists. The findings demonstrate widespread exposure to the virus in both species, with seroprevalence higher in goats than in sheep and increasing with age. Seropositivity was also associated with large flock size, seasonal migration, communal grazing and watering points, and the introduction of new animals from livestock markets. Limited vaccination coverage and weak cold chain systems were identified as major constraints. The study concludes that strengthened vaccination campaigns, improved surveillance, movement control and community-based animal health services are essential for progressive control and eventual eradication.

Keywords: Peste des petits ruminants, seroprevalence, sheep and goats, pastoral systems, Ethiopia

MOLECULAR CHARACTERIZATION OF FOOT-AND-MOUTH DISEASE VIRUS SEROTYPES CIRCULATING IN NORTH AFRICAN LIVESTOCK POPULATIONS

Assis. Prof. Dr. Youssef El Amrani[1], Dr. Fatima Zahra Benjelloun[1], Khalid Ouazzani Tahiri[2], Prof. Dr. Nadia Berrada Chraibi[1], Hamza El Fassi[2]

[1]Hassan II Agronomic and Veterinary Institute, Department of Microbiology, Immunology and Contagious Diseases, Rabat, Morocco

[2]Mohammed V University in Rabat, Faculty of Sciences, Department of Biology, Rabat, Morocco

ABSTRACT

Foot-and-mouth disease is one of the most contagious and economically devastating diseases of cloven-hoofed animals, affecting cattle, sheep, goats, camels and pigs. Caused by an aphthovirus with several immunologically distinct serotypes and numerous topotypes and lineages, the disease leads to severe production losses, trade restrictions and costly control measures. North Africa has experienced recurrent incursions of foot-and-mouth disease virus, often linked to the movement of animals across borders and the circulation of strains from sub-Saharan Africa and the Middle East. Because vaccine protection depends on the antigenic match between vaccine and field strains, molecular characterization of circulating viruses is essential for effective control. This study presents the molecular characterization of foot-and-mouth disease virus serotypes circulating in North African livestock populations, with a focus on Morocco and neighboring countries. Epithelial tissue and oral fluid samples were collected from clinically affected animals during outbreak investigations. Viral RNA was detected by real-time reverse transcription polymerase chain reaction, and the gene encoding the capsid protein VP1 was amplified and sequenced. Phylogenetic analysis was carried out to determine serotypes, topotypes and genetic relationships with reference strains from other regions. The findings confirmed the circulation of serotype O and serotype A, as well as viruses belonging to the SAT serotypes, which had previously been considered largely restricted to sub-Saharan Africa. Phylogenetic analysis revealed close genetic relationships between North African isolates and strains from West Africa and the Middle East, indicating transboundary spread through livestock movements. The study concludes that continuous molecular surveillance, regional cooperation, vaccine matching and strict control of animal movements are essential for preventing future incursions.

Keywords: Foot-and-mouth disease, molecular characterization, phylogenetic analysis, serotypes, North Africa

IMPACT OF THERMAL STRESS ON REPRODUCTIVE PERFORMANCE AND MILK YIELD IN HOLSTEIN DAIRY COWS UNDER SEMI-ARID CONDITIONS

Dr. Rachid Bennani Smires[1], Salma El Idrissi Alaoui[2], Assoc. Prof. Dr. Omar Tazi Mansouri[1]

[1]Hassan II Agronomic and Veterinary Institute, Department of Reproduction, Medicine and Animal Production, Rabat, Morocco

[2]Sultan Moulay Slimane University, Faculty of Sciences and Techniques, Department of Biology, Beni Mellal, Morocco

ABSTRACT

Thermal stress is a major challenge for dairy production in semi-arid regions, where high ambient temperatures, intense solar radiation and limited water availability prevail for much of the year. Holstein cows, which have been widely introduced into such environments because of their high genetic potential for milk production, are particularly sensitive to heat because of their high metabolic heat production and limited capacity for thermoregulation. When the combined effects of temperature and humidity exceed the animals' thermoneutral zone, cows experience physiological and behavioral changes that impair both productivity and fertility. This study evaluates the impact of thermal stress on reproductive performance and milk yield in Holstein dairy cows under semi-arid conditions in Morocco. Data were collected from commercial dairy farms over consecutive seasons and included daily milk records, reproductive events, rectal temperature, respiration rate and climatic variables used to calculate the temperature-humidity index. The relationships between heat stress and production and reproduction traits were analyzed using mixed statistical models. The findings show that periods of high temperature-humidity index were associated with a marked decline in milk yield, reduced dry matter intake and changes in milk composition. Reproductive performance was also negatively affected, with lower conception rates, longer calving intervals, more frequent silent heats and increased early embryonic loss during the hot season. Cows in early lactation and high-producing animals were the most vulnerable. Farms that used shading, fans and water sprinklers showed better outcomes than those without cooling systems. The study concludes that heat stress significantly compromises dairy efficiency in semi-arid environments and recommends cooling strategies, nutritional adjustments, adapted reproductive management and genetic selection for heat tolerance.

Keywords: Heat stress, Holstein cows, reproductive performance, milk yield, semi-arid conditions

DETECTION AND ANTIBIOTIC SUSCEPTIBILITY OF STAPHYLOCOCCUS AUREUS IN SUBCLINICAL MASTITIS CASES FROM SMALL-SCALE DAIRY HERDS

Prof. Dr. Mohamed Chakir Belhaj[1], Imane Sabri Ouali[2], Houda Bennis Sekkat[1]
[1]Hassan II Agronomic and Veterinary Institute, Department of Pathology and Veterinary Public Health, Rabat, Morocco
[2]Hassan First University of Settat, Faculty of Sciences and Techniques, Laboratory of Agri-Food and Health, Settat, Morocco

ABSTRACT

Mastitis is the most common and costly disease of dairy cattle worldwide, and its subclinical form is particularly problematic because affected cows show no visible signs while experiencing reduced milk production and altered milk quality. Staphylococcus aureus is one of the most important contagious pathogens responsible for subclinical mastitis. It is able to persist within the mammary gland, form biofilms and spread from cow to cow during milking, and it is often poorly responsive to treatment. In addition, antibiotic-resistant strains, including methicillin-resistant Staphylococcus aureus, represent a growing concern for animal health, food safety and public health. This study aims to detect Staphylococcus aureus in subclinical mastitis cases and to determine the antibiotic susceptibility of the isolates in small-scale dairy herds in Morocco. Milk samples were collected from lactating cows and screened for subclinical mastitis using the California Mastitis Test. Positive samples were cultured, and Staphylococcus aureus was identified through conventional bacteriological and biochemical tests and confirmed by polymerase chain reaction. Antibiotic susceptibility was assessed using the disk diffusion method, and the presence of the mecA gene was investigated. Information on milking hygiene and herd management was collected through farmer interviews. The findings revealed a high frequency of subclinical mastitis, with Staphylococcus aureus being one of the most frequently isolated pathogens. The isolates showed high resistance to penicillin and tetracycline, while most remained susceptible to gentamicin and cefoxitin, and methicillin-resistant strains were detected in some herds. Poor milking hygiene, the absence of teat disinfection and the uncontrolled use of antibiotics were identified as major risk factors. The study recommends regular mastitis screening, improved milking practices and prudent antibiotic use.

Keywords: Subclinical mastitis, Staphylococcus aureus, antibiotic susceptibility, dairy herds, Morocco

SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES RETROFITTED WITH CARBON FIBER REINFORCED POLYMER JACKETING IN HIGH-RISK ZONES

Prof. Dr. Nurlan Abenov[1], Aigerim Sultanova[1], Yerlan Tulegenov[2], Dr. Zhanna Karimova[3]

[1]Satbayev University, Institute of Architecture and Civil Engineering, Department of Construction and Building Materials, Almaty, Kazakhstan

[2]Kazakh Leading Academy of Architecture and Civil Engineering, Faculty of General Construction, Almaty, Kazakhstan

[3]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Faculty of Architecture and Construction, Department of Construction, Astana, Kazakhstan

ABSTRACT

A large proportion of existing reinforced concrete frame buildings in seismically active regions were designed according to older codes that did not fully account for ductility, confinement and capacity design principles. As a result, many of these structures exhibit deficiencies such as inadequate transverse reinforcement, weak column and strong beam mechanisms, insufficient lap splice lengths and poor detailing of beam-column joints, making them highly vulnerable to strong ground motion. Retrofitting with carbon fiber reinforced polymer jacketing has emerged as an effective technique for improving the seismic performance of such buildings, offering high strength-to-weight ratio, corrosion resistance and ease of application with minimal disruption to occupants. This study assesses the seismic performance of reinforced concrete frame structures retrofitted with carbon fiber reinforced polymer jacketing in high-risk seismic zones, with particular reference to the city of Almaty in Kazakhstan. The research combines an experimental program on scaled column and beam-column joint specimens tested under reversed cyclic loading with nonlinear static pushover analysis and nonlinear time history analysis of representative multi-storey frame buildings. Ground motion records compatible with the regional seismic hazard were used in the numerical simulations. The findings indicate that carbon fiber reinforced polymer jacketing significantly increases the confinement, shear strength, ductility and energy dissipation capacity of deficient columns and joints, delaying the formation of brittle failure mechanisms. At the structural level, retrofitted frames showed reduced inter-storey drifts, a more favorable distribution of plastic hinges and improved collapse resistance compared with unretrofitted frames. However, the effectiveness of the technique depends on surface preparation, anchorage details and the quality of installation. The study concludes that carbon fiber reinforced polymer jacketing is a reliable and practical retrofitting solution and recommends its inclusion in national seismic rehabilitation guidelines.

Keywords: Seismic retrofitting, carbon fiber reinforced polymer, reinforced concrete frames, nonlinear analysis, earthquake engineering

INTEGRATION OF BUILDING INFORMATION MODELING AND ENERGY SIMULATION FOR SUSTAINABLE RESIDENTIAL ARCHITECTURE IN CONTINENTAL CLIMATE CONDITIONS

Assoc. Prof. Dr. Dmitriy Ivanov[1], Madina Zhaksybekova[2]
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Faculty of Architecture and Construction, Department of Architecture, Astana, Kazakhstan
[2]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Faculty of Architecture and Construction, Karaganda, Kazakhstan

ABSTRACT

Residential buildings account for a substantial share of energy consumption and greenhouse gas emissions, particularly in regions with harsh continental climates characterized by long, extremely cold winters, hot summers and large daily and seasonal temperature variations. In such contexts, heating demand dominates energy use, and decisions made at the early design stage regarding building form, orientation, envelope construction and glazing have a decisive influence on long-term energy performance. Building Information Modeling offers a collaborative digital environment that integrates geometric, material and technical data, while energy simulation tools allow designers to predict building performance under different scenarios. Their integration has the potential to transform sustainable design into an evidence-based process. This study investigates the integration of Building Information Modeling and energy simulation for sustainable residential architecture in continental climate conditions, with a focus on Kazakhstan. The research develops an integrated workflow in which architectural models are transferred to energy simulation software through interoperable data formats and applied to a case study of a multi-storey residential building. Design alternatives involving building orientation, window-to-wall ratio, insulation thickness, thermal bridging, glazing types and ventilation with heat recovery were evaluated. The findings show that the integrated approach allows rapid comparison of design options and identifies combinations of envelope improvements and passive strategies that substantially reduce heating demand while maintaining indoor thermal comfort. Improved insulation of walls and roofs, high-performance glazing and the treatment of thermal bridges produced the greatest benefits. However, interoperability problems, data loss during model exchange and the limited availability of local climate and material data were identified as obstacles. The study concludes that integrating these tools supports energy-efficient residential design and recommends standardized workflows and professional training.

Keywords: Building Information Modeling, energy simulation, sustainable architecture, continental climate, residential buildings

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF LONG-SPAN STEEL TRUSS BRIDGES UNDER COMBINED THERMAL AND DYNAMIC TRAFFIC LOADING

Prof. Dr. Goran Stojanovski[1], Marija Petrovska[1], Assis. Prof. Dr. Ilija Nikolov[2], Ana Trajkovska[3], Dr. Vladimir Angelov[2]

[1]Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Civil Engineering, Department of Steel and Timber Structures, Skopje, North Macedonia

[2]Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Skopje, North Macedonia

[3]University "St. Kliment Ohridski" Bitola, Faculty of Technical Sciences, Bitola, North Macedonia

ABSTRACT

Long-span steel truss bridges are critical components of transportation networks, valued for their structural efficiency, high strength-to-weight ratio and ability to span wide rivers and valleys. During their service life, these structures are subjected to a complex combination of actions, among which temperature variations and dynamic traffic loads are particularly significant. Daily and seasonal temperature changes induce expansion, contraction and thermal gradients that generate additional stresses when movements are restrained, while moving vehicles produce dynamic amplification, vibration and repeated stress cycles that contribute to fatigue damage. The interaction of these effects is often simplified or treated separately in conventional design practice. This study presents a finite element analysis of long-span steel truss bridges under combined thermal and dynamic traffic loading. A detailed three-dimensional finite element model of a representative steel truss bridge was developed, incorporating truss members, deck system, bearings and connections. Thermal actions were defined on the basis of uniform temperature changes and vertical and transverse gradients, while traffic loads were simulated as moving vehicle models traversing the bridge at different speeds, including the effects of road surface roughness. The model was calibrated using results from field measurements of temperature and vibration. The findings indicate that the combination of thermal and dynamic loading leads to stress levels in certain truss members and connections that are noticeably higher than those obtained when each action is considered independently. Bearing restraint conditions strongly influence thermal stresses, and dynamic amplification increases with vehicle speed and surface irregularities. Critical fatigue-prone details were identified at gusset plate connections and cross-girder joints. The study concludes that combined load effects should be explicitly considered in design and assessment, and it recommends structural health monitoring and improved bearing maintenance.

Keywords: Finite element analysis, steel truss bridges, thermal loading, dynamic traffic loading, fatigue

ADAPTIVE REUSE OF INDUSTRIAL HERITAGE BUILDINGS AS A STRATEGY FOR URBAN REGENERATION AND CULTURAL SUSTAINABILITY

Biljana Ristovska[1], Assoc. Prof. Dr. Kiril Dimitrov[2]
[1]Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Architecture, Skopje, North Macedonia
[2]University American College Skopje, School of Architecture and Design, Skopje, North Macedonia

ABSTRACT

Deindustrialization and economic restructuring have left many cities with abandoned factories, warehouses, power plants, railway facilities and other industrial structures. These buildings often occupy strategic urban locations and possess significant architectural, historical and social value as tangible witnesses to the industrial past and the lives of the communities that worked in them. Yet when left unused, they deteriorate, create areas of urban decline and are frequently threatened by demolition. Adaptive reuse, which involves transforming obsolete buildings for new functions while preserving their essential character, has gained recognition as a sustainable approach that combines heritage conservation, environmental responsibility and urban regeneration. This study examines the adaptive reuse of industrial heritage buildings as a strategy for urban regeneration and cultural sustainability, with particular reference to the Western Balkans and selected European examples. Using a qualitative and comparative case study approach, the research analyzes architectural documentation, planning policies and completed reuse projects, complemented by site observations and interviews with architects, urban planners, heritage experts, local authorities and users. The findings show that successful adaptive reuse projects have converted industrial buildings into cultural centers, creative hubs, educational facilities, museums and mixed-use spaces, revitalizing surrounding neighborhoods and strengthening local identity. Reuse also reduces construction waste and embodied carbon compared with demolition and new construction. Key success factors include sensitive architectural intervention, flexible programming, community participation and supportive legal and financial frameworks. However, obstacles such as unclear ownership, structural and contamination problems, limited funding, weak protection of industrial heritage and pressure from real estate development were also identified. The study concludes that adaptive reuse can serve as an effective tool for sustainable urban development when integrated into heritage policy and strategic planning.

Keywords: Adaptive reuse, industrial heritage, urban regeneration, cultural sustainability, architectural conservation

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LATERITIC SOIL STABILIZATION USING RICE HUSK ASH AND CEMENT FOR LOW-COST ROAD PAVEMENT CONSTRUCTION

Prof. Dr. Chinedu Okafor[1]
[1]University of Nigeria, Nsukka, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Nsukka, Nigeria

ABSTRACT

Lateritic soils are widely distributed in tropical regions and are commonly used as construction materials for road subgrades, subbases and bases, particularly in low-volume rural roads. However, many lateritic soils exhibit undesirable engineering properties, including high plasticity, low bearing capacity, susceptibility to moisture and volume changes, which lead to premature pavement failure. Conventional stabilization with cement or lime can improve these properties, but the high cost and environmental impact of cement production limit its use in low-cost road projects. Agricultural wastes such as rice husk ash, which is rich in amorphous silica and exhibits pozzolanic activity, offer a promising and sustainable alternative for partially replacing cement. This study presents an experimental investigation of lateritic soil stabilization using rice husk ash and cement for low-cost road pavement construction in Nigeria. Lateritic soil samples were collected from borrow pits and characterized through particle size distribution, Atterberg limits, specific gravity and compaction tests. The soil was then treated with varying combinations of cement and rice husk ash, and the stabilized mixtures were tested for maximum dry density, optimum moisture content, California bearing ratio, unconfined compressive strength and durability under wetting and drying cycles. Microstructural changes were examined using scanning electron microscopy. The findings show that the addition of rice husk ash together with a reduced quantity of cement significantly decreased plasticity and improved strength, bearing capacity and durability compared with untreated soil. Optimal blends met the requirements of national specifications for subbase and base materials while reducing cement consumption. Microstructural analysis confirmed the formation of cementitious compounds that bind soil particles. The study concludes that rice husk ash and cement stabilization provides an economical and environmentally friendly solution for rural road construction.

Keywords: Lateritic soil, soil stabilization, rice husk ash, cement, low-cost road construction

OPTIMIZATION OF PASSIVE COOLING TECHNIQUES IN VERNACULAR ARCHITECTURE FOR TROPICAL CLIMATE ENERGY EFFICIENCY

Assoc. Prof. Dr. Funmilayo Adeyemi[1], Ibrahim Musa[2], Blessing Eze[3], Dr. Olusegun Bamidele[1], Ngozi Uchenna[3], Assis. Prof. Dr. Tunde Afolabi[4]

[1]Obafemi Awolowo University, Faculty of Environmental Design and Management, Department of Architecture, Ile-Ife, Nigeria

[2]Ahmadu Bello University, Faculty of Environmental Design, Department of Architecture, Zaria, Nigeria

[3]University of Nigeria, Enugu Campus, Faculty of Environmental Studies, Department of Architecture, Enugu, Nigeria

[4]Covenant University, College of Science and Technology, Department of Architecture, Ota, Nigeria

ABSTRACT

Rapid urbanization and the widespread adoption of modern building forms in tropical regions have led to increasing dependence on mechanical air conditioning, resulting in high energy consumption, rising costs and greater greenhouse gas emissions. In many cases, contemporary buildings ignore climatic conditions, relying on large glazed surfaces, lightweight materials and sealed envelopes that trap heat. By contrast, vernacular architecture developed over generations embodies valuable knowledge of passive cooling strategies adapted to local climates, materials and ways of life. Traditional buildings in West Africa, for example, employ thick earthen walls, courtyards, deep verandas, raised and ventilated roofs, careful orientation and shaded openings to maintain comfortable indoor conditions without mechanical systems. This study investigates the optimization of passive cooling techniques derived from vernacular architecture to improve energy efficiency in tropical climates, with a focus on Nigeria's hot-humid and hot-dry climatic zones. The research combines field surveys and indoor environmental measurements in selected traditional and contemporary buildings with dynamic thermal simulation and parametric optimization of key design variables, including orientation, wall materials, roof form, courtyard geometry, shading devices and natural ventilation strategies. The findings indicate that vernacular buildings generally provide better thermal comfort than many contemporary buildings, owing to their thermal mass, shading and effective cross-ventilation. Optimized combinations of passive strategies adapted to each climatic zone significantly reduced indoor temperatures and the number of overheating hours, thereby lowering cooling energy demand. Natural ventilation was most effective in hot-humid areas, while thermal mass and night ventilation performed best in hot-dry regions. The study concludes that integrating vernacular principles with modern design tools offers a cost-effective path toward energy-efficient and culturally appropriate tropical architecture.

Keywords: Passive cooling, vernacular architecture, tropical climate, energy efficiency, thermal comfort

DURABILITY AND MECHANICAL BEHAVIOR OF SELF-COMPACTING CONCRETE INCORPORATING RECYCLED COARSE AGGREGATES AND SILICA FUME

Dr. Yusuf Abdullahi[1], Chidinma Obi[2], Prof. Dr. Hassan Danjuma[1]
[1]Bayero University Kano, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Kano, Nigeria
[2]Nnamdi Azikiwe University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Awka, Nigeria

ABSTRACT

The construction industry consumes vast quantities of natural aggregates and generates large volumes of construction and demolition waste, creating serious environmental and economic challenges. The use of recycled coarse aggregates obtained from crushed concrete offers a sustainable means of conserving natural resources and reducing landfill disposal. However, recycled aggregates typically have higher water absorption, lower density and weaker adhered mortar than natural aggregates, which can adversely affect the fresh and hardened properties of concrete. Self-compacting concrete, which flows and consolidates under its own weight without mechanical vibration, places particularly high demands on the properties of its constituents. Silica fume, a highly reactive pozzolanic material, has the potential to compensate for the weaknesses of recycled aggregates by refining the pore structure and strengthening the interfacial transition zone. This study investigates the durability and mechanical behavior of self-compacting concrete incorporating recycled coarse aggregates and silica fume. Concrete mixtures were prepared with different levels of replacement of natural coarse aggregates by recycled aggregates and with varying contents of silica fume as partial cement replacement. Fresh properties were evaluated through slump flow, V-funnel, L-box and segregation resistance tests. Hardened concrete was tested for compressive, splitting tensile and flexural strength and modulus of elasticity, while durability was assessed through water absorption, sorptivity, chloride ion penetration and resistance to acid attack. The findings show that increasing the proportion of recycled aggregates reduced workability, strength and durability, but the incorporation of silica fume substantially mitigated these effects. Mixtures with an optimal combination achieved mechanical and durability performance comparable to control concrete. The study concludes that self-compacting concrete with recycled aggregates and silica fume is a viable sustainable material for structural applications.

Keywords: Self-compacting concrete, recycled coarse aggregates, silica fume, durability, sustainable construction

RESILIENCE-BASED DESIGN OF URBAN DRAINAGE INFRASTRUCTURE FOR FLOOD MITIGATION UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS IN DENSE COASTAL CITIES

Prof. Dr. Tan Wei Ming[1], Lim Hui Ling[1], Assoc. Prof. Dr. Rajesh Kumar[2], Nurul Aisyah Binte Rahman[3]

[1]National University of Singapore, College of Design and Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Singapore

[2]Nanyang Technological University, School of Civil and Environmental Engineering, Singapore

[3]Singapore University of Technology and Design, Engineering Systems and Design Pillar, Singapore

ABSTRACT

Dense coastal cities are increasingly exposed to flood risks arising from the combined effects of intense rainfall, sea level rise, storm surges and rapid urbanization. Climate change is expected to increase the frequency and intensity of extreme precipitation events, while the expansion of impervious surfaces reduces infiltration and accelerates runoff. Conventional urban drainage systems, typically designed on the basis of historical rainfall statistics and the principle of rapid conveyance, may become insufficient under future conditions, leading to more frequent surface flooding, damage to infrastructure and disruption of urban life. A shift from traditional risk-based design toward resilience-based approaches is therefore needed, focusing not only on preventing failure but also on the system's capacity to absorb, adapt to and recover from extreme events. This study develops a resilience-based design framework for urban drainage infrastructure aimed at flood mitigation under climate change scenarios in dense coastal cities, with Singapore as a case study. The research integrates downscaled climate projections with hydrological and hydraulic modeling of an urban catchment, simulating the performance of the drainage network under a range of future rainfall and tidal conditions. Resilience was assessed using indicators of flood volume, duration, extent and recovery time. Alternative strategies were evaluated, including the enlargement of drains, detention tanks, green roofs, bioretention systems, permeable pavements and multifunctional urban spaces designed to store water temporarily. The findings indicate that combining conventional grey infrastructure with blue-green solutions provides greater resilience than either approach alone, reducing peak flows and accelerating recovery. Coordinated management of tidal gates and reservoirs was also found to be important. The study concludes that resilience-based design should guide future drainage planning in coastal cities.

Keywords: Urban drainage, flood resilience, climate change, blue-green infrastructure, coastal cities

OPTIMIZATION OF CUTTING PARAMETERS IN CNC TURNING OF STAINLESS STEEL USING TAGUCHI-BASED SURFACE ROUGHNESS ANALYSIS

Sardor Ergashev, Assis. Prof. Dr. Nodira Karimova
Faculty of Mechanical Engineering, Tashkent State Technical University, Uzbekistan

ABSTRACT

This study investigates the optimization of cutting parameters in the CNC turning of stainless steel through a Taguchi-based analysis of surface roughness. Stainless steel is widely used in mechanical, medical, chemical, and energy-related applications because of its strength and corrosion resistance. However, its low thermal conductivity and tendency to work harden make it challenging to machine efficiently. Surface roughness is therefore an important indicator of machining quality, dimensional accuracy, and component performance.

The research examines the influence of cutting speed, feed rate, and depth of cut on the surface quality of turned stainless-steel specimens. A Taguchi experimental design is used to organize the machining trials and identify an efficient combination of process parameters. Surface roughness measurements are evaluated through signal-to-noise analysis, analysis of variance, and response interpretation. The results indicate that feed rate has the most significant effect on surface roughness because it directly influences tool marks and the geometric texture generated on the machined surface. Cutting speed also affects the process by changing cutting temperature, chip formation, and tool–workpiece interaction, while depth of cut has a comparatively limited influence within the selected operating range.

The study demonstrates that Taguchi methodology can reduce experimental effort while providing a systematic basis for process optimization. The optimized parameter combination improves surface quality and supports more consistent machining performance. The findings are relevant to manufacturers seeking to reduce rework, tool wear, and production costs in stainless-steel components. The paper concludes that statistical process optimization, combined with appropriate tool selection and machining control, can contribute significantly to sustainable and high-quality CNC production

Key words: CNC turning, stainless steel, Taguchi method, surface roughness, machining optimization

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESS DISTRIBUTION IN COMPOSITE LEAF SPRINGS FOR LIGHTWEIGHT AUTOMOTIVE SUSPENSION SYSTEMS

Prof. Dr. Chih-Ming Lin, Yu-Hsuan Chang, Wei-Chen Huang, Dr. Ping-Hung Tsai
Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan

ABSTRACT

This study analyzes the stress distribution and structural behavior of composite leaf springs designed for lightweight automotive suspension systems. Leaf springs are required to support vehicle loads, absorb road-induced shocks, and maintain stable suspension performance. Conventional steel leaf springs offer high strength but contribute significantly to vehicle weight and may be vulnerable to corrosion and fatigue. Fiber-reinforced polymer composites provide an alternative because of their low density, high specific strength, and capacity for tailored stiffness.

A three-dimensional finite element model is developed to evaluate deformation, equivalent stress, strain distribution, and safety performance under representative static loading conditions. Different composite material configurations and fiber orientations are considered to assess their influence on structural response. The analysis focuses on stress concentration near the spring eye, central region, and load-bearing interfaces, where failure is most likely to occur. The results indicate that composite leaf springs can reduce structural mass while maintaining acceptable deformation and stress levels when the laminate arrangement is properly designed.

The findings also show that fiber orientation plays a central role in distributing load and controlling bending behavior. Appropriate reinforcement sequencing can reduce local stress concentration and improve structural reliability. The study emphasizes that numerical modeling is valuable during the early design stage because it allows engineers to compare material systems before costly prototype production. The paper concludes that composite leaf springs are promising for lightweight automotive applications, provided that fatigue behavior, manufacturing quality, and long-term environmental durability are considered in future development

Key words: composite leaf spring, finite element analysis, stress distribution, automotive suspension, lightweight design

DEVELOPMENT OF A HYBRID PIEZOELECTRIC ENERGY HARVESTING MODULE FOR VIBRATION-DRIVEN INDUSTRIAL SENSOR APPLICATIONS

Assoc. Prof. Dr. Kuan-Yu Chen, Hsiao-Ling Wu, Jia-Wei Yang, Mei-Fen Ho, Cheng-Hao Liu, Dr. Shu-Ping Kao
Institute of Mechatronics and Energy Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan

ABSTRACT

This research presents the development of a hybrid piezoelectric energy harvesting module for vibration-driven industrial sensor applications. Industrial machinery produces continuous mechanical vibrations that are usually treated as undesirable effects, yet these vibrations can also serve as a local energy source for low-power monitoring systems. The study addresses the need for autonomous sensor technologies that can operate in remote, rotating, or difficult-to-access locations without frequent battery replacement.

The proposed module combines piezoelectric transducers, vibration-sensitive mechanical structures, and a power management circuit designed to convert irregular mechanical motion into usable electrical energy. The research examines the relationship between excitation frequency, structural resonance, piezoelectric configuration, and energy output. Particular attention is given to the limitations of conventional narrow-band harvesters, which may perform efficiently only when environmental vibration remains close to their natural frequency. A hybrid design is therefore developed to broaden the operating range and improve energy availability under changing industrial conditions.

The study suggests that combining multiple harvesting elements and suitable electrical regulation can improve the continuity and reliability of power delivery to wireless sensors. The module is intended to support applications such as machinery condition monitoring, predictive maintenance, and industrial Internet of Things networks. The findings indicate that vibration-based harvesting is most effective when transducer selection, mechanical tuning, and energy consumption are considered as one integrated system.

The paper concludes that hybrid piezoelectric modules can contribute to self-powered industrial sensing by reducing dependence on batteries and simplifying maintenance in inaccessible environments

Key words: piezoelectric energy harvesting, industrial sensors, vibration energy, wireless monitoring, smart manufacturing

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS STUDY OF HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN MICROCHANNEL HEAT SINKS USING NANOFLUID COOLANTS

Prof. Dr. Md. Rafiqul Islam, Tahmina Akter
Department of Mechanical Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh

ABSTRACT

This study investigates heat transfer enhancement in microchannel heat sinks using nanofluid coolants through computational fluid dynamics analysis. Microchannel heat sinks are increasingly important in the thermal management of electronic devices, power modules, and compact energy systems because they provide a large heat-transfer area within a small volume. However, high heat flux and restricted flow passages create significant challenges related to temperature control, pressure loss, and pumping power.

A numerical model is developed to analyze fluid flow and thermal behavior inside a microchannel heat sink under different operating conditions. The study compares the performance of a conventional base fluid with nanofluids containing dispersed conductive nanoparticles. The analysis evaluates temperature distribution, heat-transfer coefficient, pressure drop, and overall thermal-hydraulic performance. The results indicate that nanofluid coolants can improve heat removal by increasing effective thermal conductivity and modifying the thermal boundary layer. Nevertheless, greater particle concentration may also increase viscosity and pressure loss, reducing the practical advantage of the coolant.

The findings emphasize the importance of balancing thermal improvement with pumping requirements. Channel geometry, flow regime, particle properties, and inlet conditions must be considered together when designing an efficient microchannel system. The study also highlights the value of computational fluid dynamics as a cost-effective tool for predicting complex thermal and flow behavior before experimental fabrication.

The paper concludes that properly designed nanofluid-cooled microchannel heat sinks can provide improved thermal management for compact electronic systems. Future development should focus on stability, particle deposition, environmental safety, and the long-term reliability of nanofluid operation.

Key words: microchannel heat sink, nanofluid, computational fluid dynamics, heat transfer, thermal management

DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION OF A LOW-COST SOLAR-POWERED WATER PUMPING SYSTEM FOR RURAL AGRICULTURAL IRRIGATION

Abdullah Al Mamun, Assoc. Prof. Dr. Shahriar Hossain, Nusrat Jahan, Dr. Kamrul Hasan Bhuiyan, Fatema Begum
Department of Agricultural Engineering, Bangladesh Agricultural University, Bangladesh

ABSTRACT

This study presents the design and performance evaluation of a low-cost solar-powered water pumping system for rural agricultural irrigation. Farmers in remote areas often depend on diesel-powered pumps, which are affected by fuel costs, maintenance requirements, and unreliable access to energy. Solar-powered irrigation provides an alternative that can reduce operating expenses while supporting cleaner and more sustainable agricultural production.

The proposed system integrates photovoltaic panels, a water pump, a storage or distribution arrangement, and a simple control mechanism suitable for rural operation. The design emphasizes locally available components, ease of maintenance, and compatibility with small and medium-sized farms. Performance evaluation considers water delivery, pumping consistency, energy conversion, field usability, and the relationship between solar availability and irrigation demand. The analysis indicates that the system can provide reliable daytime irrigation when appropriately matched to crop requirements and local solar conditions.

The study also emphasizes the importance of water management. Solar pumping should be combined with efficient irrigation methods to prevent excessive groundwater extraction and reduce water loss. The findings suggest that drip or controlled-flow irrigation can improve the overall value of the system by using pumped water more efficiently. Training and local technical support are also essential for ensuring long-term operation.

The paper concludes that low-cost solar pumping can contribute to rural energy access, agricultural productivity, and climate-resilient farming. With suitable design adaptation, financing support, and farmer training, solar irrigation systems can reduce dependence on fossil fuels and strengthen the sustainability of rural agricultural communities in Bangladesh.

Key words: solar water pumping, rural irrigation, photovoltaic energy, agricultural engineering, Bangladesh

WEAR AND FRICTION CHARACTERIZATION OF SILICON CARBIDE-REINFORCED ALUMINUM MATRIX COMPOSITES FABRICATED BY STIR CASTING

Assis. Prof. Dr. Mohammad Saiful Alam, Rezaul Karim, Sadia Islam
Department of Materials and Metallurgical Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh

ABSTRACT

This study investigates the wear and friction behavior of silicon carbide-reinforced aluminum matrix composites fabricated through the stir-casting process. Aluminum matrix composites are increasingly used in transportation, aerospace, and machinery applications because they combine low density with improved stiffness and wear resistance. The incorporation of silicon carbide particles can enhance surface durability, although uniform particle distribution and strong matrix bonding remain important manufacturing challenges.

The research evaluates how reinforcement content, particle dispersion, applied load, and sliding condition influence frictional behavior and material loss. Stir casting is selected because it is relatively simple, cost-effective, and suitable for producing composite components on an industrial scale. The study examines the microstructural distribution of silicon carbide particles and relates it to wear mechanisms such as adhesive wear, abrasive wear, delamination, and localized plastic deformation.

The findings suggest that properly dispersed silicon carbide particles improve resistance to material removal by supporting the aluminum matrix and reducing direct metal-to-metal contact. The reinforced composite also demonstrates more stable friction behavior under demanding sliding conditions. However, excessive reinforcement or poor stirring may produce clustering and porosity, which can increase surface damage and reduce mechanical reliability. Therefore, process control is essential for achieving a balanced combination of hardness, toughness, and wear resistance.

The paper concludes that silicon carbide-reinforced aluminum composites fabricated by stir casting are promising for lightweight components subjected to repeated friction and sliding. Further research should examine fatigue wear, high-temperature performance, corrosion behavior, and the relationship between processing conditions and long-term service reliability.

Key words: aluminum matrix composite, silicon carbide, wear behavior, friction, stir casting

COMPARATIVE ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN URBAN RIVER SEDIMENTS UNDER SEMI-ARID CLIMATIC CONDITIONS

Prof. Dr. Bekzod Rakhimov[1], Nilufar Yusupova[1], Assoc. Prof. Dr. Sardor Karimov[2]
[1]National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Faculty of Chemistry, Department of Analytical Chemistry, Tashkent, Uzbekistan
[2]"TIIAME" National Research University, Faculty of Ecology and Water Resources Management, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

Urban rivers in semi-arid regions are particularly vulnerable to pollution, as low and irregular flows, high evaporation rates and intensive water withdrawal for irrigation limit their natural capacity for dilution and self-purification. Heavy metals released from industrial discharges, untreated or partially treated wastewater, urban runoff, vehicle emissions and agricultural activities tend to accumulate in river sediments, which act as both a sink and a potential secondary source of contamination. Because heavy metals are persistent, non-biodegradable and toxic even at low concentrations, their accumulation in sediments poses long-term risks to aquatic ecosystems, irrigated agriculture and human health. This study presents a comparative assessment of heavy metal contamination in urban river sediments under semi-arid climatic conditions, focusing on rivers and canals flowing through major cities of Uzbekistan. Sediment samples were collected upstream, within and downstream of urban areas during dry and wet seasons and analyzed for cadmium, lead, chromium, copper, nickel, zinc and arsenic using inductively coupled plasma mass spectrometry. Contamination levels were evaluated using the geoaccumulation index, contamination factor, pollution load index and potential ecological risk index, while multivariate statistical methods were applied to identify likely pollution sources. The findings reveal that sediments in urban and downstream sections are considerably more contaminated than those upstream, with cadmium, lead and zinc presenting the highest ecological risk. Contamination was greater during the dry season, reflecting reduced flow and increased concentration of pollutants. Source analysis indicated a combination of industrial, traffic-related and agricultural inputs. The study concludes that improved wastewater treatment, industrial effluent control, regular sediment monitoring and integrated river basin management are essential for protecting water quality in semi-arid urban environments.

Keywords: Heavy metals, river sediments, semi-arid regions, ecological risk assessment, Uzbekistan

MEMBRANE BIOREACTOR PERFORMANCE FOR MUNICIPAL WASTEWATER REUSE IN WATER-STRESSED REGIONS OF CENTRAL ASIA

Dr. Dilnoza Abdullayeva[1], Otabek Tursunov[1], Prof. Dr. Jamshid Ismoilov[2], Malika Sattorova[3], Assis. Prof. Dr. Farrukh Nazarov[2]

[1]Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering Communications, Department of Water Supply and Sewerage, Tashkent, Uzbekistan

[2]Tashkent State Technical University, Faculty of Chemical Technology, Department of Environmental Engineering, Tashkent, Uzbekistan

[3]Samarkand State University, Faculty of Biology, Department of Ecology, Samarkand, Uzbekistan

ABSTRACT

Central Asia faces growing water scarcity as a result of climate change, population growth, expanding urban areas and the heavy demands of irrigated agriculture. The legacy of the Aral Sea crisis has further highlighted the urgent need for more sustainable water management. In this context, the treatment and reuse of municipal wastewater represents a valuable opportunity to supplement limited freshwater resources for agricultural irrigation, urban landscaping and industrial purposes. Membrane bioreactor technology, which combines biological treatment with membrane filtration, produces high-quality effluent with low levels of suspended solids, organic matter and pathogens, and requires a smaller footprint than conventional activated sludge systems. This study evaluates the performance of membrane bioreactor technology for municipal wastewater reuse in water-stressed regions of Central Asia, with a focus on Uzbekistan. A pilot-scale submerged membrane bioreactor was operated at a municipal wastewater treatment plant under varying operating conditions, including different hydraulic and sludge retention times and seasonal temperature variations. Influent and effluent quality was monitored for chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, nitrogen and phosphorus compounds, suspended solids and indicator microorganisms. Membrane fouling behavior and energy consumption were also assessed. The findings show that the membrane bioreactor achieved consistently high removal of organic matter, suspended solids and fecal indicator bacteria, producing effluent that met international guidelines for agricultural reuse. Nitrogen removal was effective but declined during cold winter periods. Membrane fouling was the main operational challenge and was strongly influenced by sludge characteristics and temperature, while energy demand remained a significant cost factor. The study concludes that membrane bioreactor technology is a promising solution for safe wastewater reuse in Central Asia, provided that fouling control strategies, energy optimization and appropriate regulatory frameworks are developed.

Keywords: Membrane bioreactor, wastewater reuse, water scarcity, Central Asia, membrane fouling

PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF PHARMACEUTICAL POLLUTANTS USING MODIFIED TITANIUM DIOXIDE NANOCOMPOSITES

Prof. Dr. Ahmed El-Sayed[1], Mona Abdelrahman[2]
[1]Cairo University, Faculty of Science, Department of Chemistry, Giza, Egypt
[2]National Research Centre, Environmental Research Institute, Water Pollution Research Department, Giza, Egypt

ABSTRACT

Pharmaceutical compounds such as antibiotics, analgesics, anti-inflammatory drugs and hormones are increasingly detected in surface water, groundwater and wastewater effluents. These contaminants enter the environment through human excretion, improper disposal of unused medicines, hospital effluents and pharmaceutical manufacturing. Conventional wastewater treatment plants are not designed to remove such compounds effectively, and their persistence even at trace concentrations raises concern about ecotoxicity, endocrine disruption and the development of antimicrobial resistance. Advanced oxidation processes, particularly heterogeneous photocatalysis, have attracted considerable attention as efficient methods for degrading these pollutants. Titanium dioxide is the most widely studied photocatalyst because of its chemical stability, low toxicity and low cost, but its wide band gap restricts activation mainly to ultraviolet light and its efficiency is limited by the rapid recombination of photogenerated charge carriers. This study investigates the photocatalytic degradation of pharmaceutical pollutants using modified titanium dioxide nanocomposites. Nanocomposites were synthesized by doping titanium dioxide with nitrogen and silver and by coupling it with graphene oxide through a sol-gel and hydrothermal approach. The materials were characterized by X-ray diffraction, scanning and transmission electron microscopy, Fourier transform infrared spectroscopy and diffuse reflectance spectroscopy. Their photocatalytic activity was evaluated for the degradation of selected pharmaceuticals, including ciprofloxacin, diclofenac and paracetamol, under ultraviolet and simulated solar irradiation. The findings show that the modified nanocomposites exhibited a narrower band gap, enhanced visible light absorption and reduced charge recombination, resulting in significantly faster degradation compared with pure titanium dioxide. The catalysts retained high activity after repeated cycles. The study concludes that modified titanium dioxide nanocomposites are promising materials for removing pharmaceutical pollutants from water.

Keywords: Photocatalysis, titanium dioxide, nanocomposites, pharmaceutical pollutants, advanced oxidation processes

LIFE CYCLE ANALYSIS OF SOLID WASTE MANAGEMENT STRATEGIES IN RAPIDLY EXPANDING COASTAL CITIES

Dr. Karim Mahmoud[1], Fatma Hassan[1], Assoc. Prof. Dr. Youssef Ibrahim[2], Nourhan Farouk[2]

[1]Alexandria University, Faculty of Engineering, Department of Sanitary and Environmental Engineering, Alexandria, Egypt

[2]Ain Shams University, Faculty of Engineering, Department of Public Works, Cairo, Egypt

ABSTRACT

Rapid urban growth in coastal cities is generating increasing quantities of municipal solid waste, placing heavy pressure on collection systems, disposal sites and the surrounding environment. In many developing countries, waste management still relies largely on open dumping and poorly controlled landfills, leading to soil and groundwater contamination, greenhouse gas emissions, marine litter and risks to public health. Coastal cities face additional challenges, including limited land availability, high groundwater levels, seasonal population increases linked to tourism and the direct impact of waste on marine ecosystems. Selecting appropriate waste management strategies therefore requires a comprehensive evaluation of their environmental consequences. This study applies life cycle analysis to compare solid waste management strategies in rapidly expanding coastal cities, using Alexandria in Egypt as a case study. Following international life cycle assessment standards, the research evaluates several scenarios, including the current practice of landfilling with limited recovery, sanitary landfilling with gas capture, increased source separation and recycling, composting of organic waste, anaerobic digestion and waste-to-energy incineration, as well as integrated combinations of these options. Data were obtained from municipal records, field surveys of waste composition and relevant life cycle inventory databases. Environmental impacts were assessed in terms of global warming potential, acidification, eutrophication, human toxicity and resource depletion. The findings indicate that the current system produces the highest environmental burden, mainly due to methane emissions from uncontrolled disposal. Integrated scenarios that combine source separation, recycling, biological treatment of organic waste and sanitary landfilling of residues achieved the greatest environmental benefits. The study concludes that integrated waste management strategies, supported by public participation, institutional capacity and investment in infrastructure, are essential for sustainable coastal cities.

Keywords: Life cycle assessment, solid waste management, coastal cities, recycling, greenhouse gas emissions

MICROPLASTIC OCCURRENCE AND SEASONAL DISTRIBUTION IN COLD-WATER FJORD ECOSYSTEMS

Prof. Dr. Lars Haugen[1], Ingrid Solberg[1], Dr. Magnus Berg[2]
[1]University of Bergen, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Department of Biological Sciences, Bergen, Norway
[2]Norwegian Institute for Water Research, Section for Marine Pollution, Oslo, Norway

ABSTRACT

Microplastics have become one of the most pervasive forms of marine pollution, detected from coastal waters and deep-sea sediments to polar regions. Fjord ecosystems, characterized by deep basins, restricted water exchange, strong stratification and inputs from rivers, glaciers and coastal settlements, may act as important accumulation zones for these particles. Cold-water fjords support rich biodiversity, fisheries and aquaculture, and microplastic contamination may therefore have ecological as well as economic implications. However, knowledge of microplastic occurrence and seasonal dynamics in such environments remains limited. This study investigates the occurrence and seasonal distribution of microplastics in cold-water fjord ecosystems along the western coast of Norway. Surface water, water column and sediment samples were collected at stations from the inner to the outer parts of selected fjords during different seasons. Microplastics were extracted using density separation and digestion procedures, counted and classified by shape, size and color under stereomicroscopy, and polymer types were identified using Fourier transform infrared spectroscopy. Strict contamination control measures were applied throughout the analysis. The findings show that microplastics were present in all compartments, with fibers and fragments being the dominant shapes and polyethylene, polypropylene and polyester the most common polymers. Concentrations were generally higher in inner fjord areas close to settlements, wastewater outlets and aquaculture facilities. Seasonal variations were observed, with higher surface concentrations during periods of increased river discharge and snowmelt, while sediments in deep basins reflected long-term accumulation. The study concludes that fjords function as significant sinks for microplastics and recommends long-term monitoring, improved wastewater treatment and measures to reduce plastic losses from aquaculture and fisheries.

Keywords: Microplastics, fjord ecosystems, seasonal distribution, marine pollution, Norway

OPTIMIZATION OF ANAEROBIC DIGESTION FOR BIOGAS RECOVERY FROM FISH PROCESSING WASTE STREAMS

Sofie Andersen[1], Assoc. Prof. Dr. Håkon Nilsen[2]
[1]Norwegian University of Life Sciences, Faculty of Science and Technology, Ås, Norway
[2]Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering, Department of Energy and Process Engineering, Trondheim, Norway

ABSTRACT

The fish processing industry generates large quantities of by-products and waste streams, including heads, viscera, bones, skin, sludge and process wastewater rich in proteins and lipids. When improperly managed, these wastes cause odor problems, oxygen depletion in receiving waters and significant greenhouse gas emissions. At the same time, their high organic content makes them a valuable resource for energy recovery. Anaerobic digestion offers an attractive treatment option that converts organic matter into biogas while producing a nutrient-rich digestate that can be used as fertilizer. However, the digestion of fish waste is challenging because the degradation of proteins releases ammonia, and high lipid content can lead to long-chain fatty acid accumulation, both of which may inhibit methanogenic microorganisms and destabilize the process. This study investigates the optimization of anaerobic digestion for biogas recovery from fish processing waste streams in Norway. Batch biochemical methane potential tests and continuous laboratory-scale reactor experiments were carried out to evaluate the effects of co-digestion with carbon-rich substrates such as agricultural residues and food waste, organic loading rate, retention time, temperature and the addition of trace elements. Process stability was monitored through biogas production and composition, pH, volatile fatty acids, ammonia and alkalinity, and microbial community changes were examined using molecular techniques. The findings show that co-digestion significantly improved methane yield and process stability by balancing the carbon-to-nitrogen ratio and diluting inhibitory compounds. Thermophilic conditions increased biogas production but were more sensitive to ammonia inhibition than mesophilic conditions. Trace element supplementation enhanced methanogenic activity. The study concludes that optimized co-digestion offers an effective strategy for converting fish processing waste into renewable energy within a circular bioeconomy.

Keywords: Anaerobic digestion, biogas, fish processing waste, co-digestion, circular bioeconomy

OPTIMIZATION OF ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION OF DIETARY FIBRE FROM RYE BRAN FOR BAKERY APPLICATIONS

Jonas Stankevičius[1], Assis. Prof. Dr. Vaida Butkutė[2]
[1]Kaunas University of Technology, Faculty of Chemical Technology, Department of Food Science and Technology, Kaunas, Lithuania
[2]Vytautas Magnus University, Agriculture Academy, Faculty of Agronomy, Department of Plant Biology and Food Sciences, Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

Rye bran, a major by-product of rye milling, is a rich source of dietary fibre, particularly arabinoxylans, cellulose, beta-glucans and lignin, together with phenolic compounds, minerals and vitamins. Despite its nutritional value, much of the bran produced is used as low-value animal feed. Dietary fibre is associated with numerous health benefits, including improved digestive function, increased satiety, modulation of blood glucose and cholesterol levels, and support of a healthy gut microbiota, and there is growing consumer demand for fibre-enriched bakery products. Efficient and environmentally friendly extraction methods are therefore needed to recover high-quality fibre fractions from cereal by-products. This study investigates the optimization of ultrasound-assisted extraction of dietary fibre from rye bran for bakery applications. Ultrasound-assisted extraction was compared with conventional alkaline and enzymatic extraction, and response surface methodology was used to optimize key process variables, including ultrasonic power, extraction time, temperature and solvent-to-solid ratio. The extracted fibre fractions were characterized in terms of yield, chemical composition, molecular structure, water and oil holding capacity, swelling capacity and antioxidant activity. The optimized fibre was then incorporated into wheat bread formulations, and dough rheology, bread volume, crumb texture, color and sensory acceptability were assessed. The findings show that ultrasound treatment significantly increased fibre yield and reduced extraction time and chemical consumption compared with conventional methods, owing to cavitation effects that disrupt cell wall structures. The extracted fibre exhibited improved hydration properties and retained antioxidant activity. Moderate levels of fibre addition improved the nutritional profile of bread without substantially compromising quality, while higher levels reduced loaf volume. The study concludes that ultrasound-assisted extraction is an efficient and sustainable approach for valorizing rye bran.

Keywords: Ultrasound-assisted extraction, dietary fibre, rye bran, bakery products, response surface methodology

EFFECT OF HIGH-PRESSURE PROCESSING ON MICROBIAL SAFETY AND SENSORY QUALITY OF FRESHLY PRESSED POMEGRANATE JUICE

Prof. Dr. Mohamed El-Sayed[1], Ahmed Abdel-Rahman[1], Dr. Amira Hassan[2], Mostafa Kamel[3]

[1]Cairo University, Faculty of Agriculture, Department of Food Science and Technology, Giza, Egypt

[2]Ain Shams University, Faculty of Agriculture, Department of Food Science, Cairo, Egypt

[3]Agricultural Research Center, Food Technology Research Institute, Giza, Egypt

ABSTRACT

Pomegranate juice is highly valued for its attractive color, distinctive flavor and rich content of bioactive compounds, particularly anthocyanins, ellagitannins such as punicalagins, and other polyphenols with strong antioxidant activity. Consumer demand for fresh-like, minimally processed juices has increased considerably, but freshly pressed juices have a very short shelf life and may carry spoilage and pathogenic microorganisms. Conventional thermal pasteurization ensures microbial safety but can cause undesirable changes in color, flavor and nutritional value, including the degradation of heat-sensitive anthocyanins. High-pressure processing, a non-thermal technology that applies very high hydrostatic pressure at low or moderate temperatures, offers a promising alternative for preserving juice quality while ensuring safety. This study evaluates the effect of high-pressure processing on the microbial safety and sensory quality of freshly pressed pomegranate juice. Juice obtained from Egyptian pomegranate cultivars was subjected to high-pressure treatments at different pressure levels and holding times and compared with untreated and thermally pasteurized samples. Microbial inactivation was assessed for total aerobic bacteria, yeasts and molds, and inoculated Escherichia coli and Listeria monocytogenes. Physicochemical properties, total phenolic content, anthocyanin content, antioxidant activity and color were determined, and sensory evaluation was carried out by a trained panel during refrigerated storage. The findings show that high-pressure processing achieved substantial reductions in spoilage and pathogenic microorganisms, meeting recognized safety targets, and maintained microbial stability during storage. Compared with thermal pasteurization, pressure-treated juice better preserved anthocyanins, phenolic compounds, antioxidant capacity and fresh color, and it received higher sensory scores for aroma, taste and overall acceptability. The study concludes that high-pressure processing is an effective technology for producing safe, high-quality pomegranate juice.

Keywords: High-pressure processing, pomegranate juice, microbial safety, anthocyanins, sensory quality

DEVELOPMENT OF EDIBLE COATINGS BASED ON CHITOSAN AND OLIVE LEAF EXTRACT TO EXTEND SHELF LIFE OF DATE FRUITS

Assoc. Prof. Dr. Mahmoud Ibrahim[1], Fatma El-Zahraa Mansour[2]
[1]Mansoura University, Faculty of Agriculture, Department of Food Industries, Mansoura, Egypt
[2]Zagazig University, Faculty of Agriculture, Department of Food Science, Zagazig, Egypt

ABSTRACT

Date fruits are an important crop in North Africa and the Middle East, valued for their high nutritional content, natural sugars, dietary fibre, minerals and phenolic compounds. Fresh and semi-dry dates, however, are susceptible to postharvest losses caused by moisture loss, softening, darkening, insect infestation and fungal spoilage, which limit their storage life and marketability. Synthetic preservatives and fumigants are commonly used to control deterioration, but consumer concerns about chemical residues have stimulated interest in natural and environmentally friendly preservation methods. Edible coatings provide a thin protective layer that acts as a barrier to moisture and gases and can serve as carriers of natural antimicrobial and antioxidant agents. This study develops edible coatings based on chitosan and olive leaf extract to extend the shelf life of date fruits. Chitosan, a biodegradable polysaccharide with film-forming and antimicrobial properties, was combined with olive leaf extract, a by-product rich in oleuropein and other polyphenols. Coating formulations with different concentrations of chitosan and extract were prepared and characterized for viscosity, film thickness, water vapor permeability and antimicrobial activity. Dates were coated by dipping and stored under ambient and refrigerated conditions alongside uncoated controls. Weight loss, firmness, color, moisture content, total soluble solids, total phenolic content, antioxidant activity, microbial counts and sensory properties were evaluated during storage. The findings show that coated dates exhibited significantly lower weight loss, better retention of firmness and color, and reduced growth of molds and yeasts compared with uncoated fruits. The incorporation of olive leaf extract enhanced antioxidant and antifungal effects without negatively affecting sensory acceptability. The study concludes that chitosan and olive leaf extract coatings offer a promising natural strategy for preserving date fruits.

Keywords: Edible coatings, chitosan, olive leaf extract, date fruits, shelf life

KINETIC MODELLING OF THIN-LAYER DRYING OF MANGO SLICES USING SOLAR-ASSISTED HYBRID DRYERS

Prof. Dr. Muhammad Aslam[1], Ayesha Bibi[1], Dr. Bilal Ahmed Khan[2], Usman Malik[3], Assis. Prof. Dr. Sana Riaz[4], Hafiz Tariq Mehmood[2]

[1]University of Agriculture Faisalabad, National Institute of Food Science and Technology, Faisalabad, Pakistan

[2]University of Agriculture Faisalabad, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Department of Energy Systems Engineering, Faisalabad, Pakistan

[3]Bahauddin Zakariya University, Institute of Food Science and Nutrition, Multan, Pakistan

[4]Government College University Faisalabad, Faculty of Life Sciences, Department of Food Science, Faisalabad, Pakistan

ABSTRACT

Mango is one of the most important fruit crops in Pakistan and other tropical and subtropical countries, but its highly perishable nature leads to considerable postharvest losses during the short harvesting season. Drying is an effective preservation method that reduces moisture content, inhibits microbial growth and enzymatic activity, and produces shelf-stable products that can be marketed throughout the year. Traditional open sun drying, although inexpensive, is slow, weather-dependent and exposes the product to dust, insects and contamination, often resulting in poor quality. Conventional mechanical dryers provide better control but consume large amounts of fossil energy. Solar-assisted hybrid dryers, which combine solar energy with an auxiliary heat source, offer a sustainable and reliable alternative for small and medium-scale processors. This study investigates the kinetic modelling of thin-layer drying of mango slices using a solar-assisted hybrid dryer. Mango slices of uniform thickness were dried at different air temperatures and velocities, and moisture loss was recorded continuously. Experimental drying data were fitted to several thin-layer drying models, including the Newton, Page, Henderson and Pabis, logarithmic and two-term models, and model performance was evaluated using statistical criteria such as the coefficient of determination and root mean square error. Effective moisture diffusivity and activation energy were calculated, and the quality of the dried slices was assessed in terms of color, rehydration capacity, ascorbic acid retention and sensory properties. The findings show that drying took place mainly in the falling rate period, indicating that moisture diffusion was the controlling mechanism. Among the tested models, the Page and logarithmic models best described the drying behavior. Higher temperatures accelerated drying but reduced ascorbic acid retention. The study concludes that solar-assisted hybrid drying is an efficient and sustainable method for mango preservation.

Keywords: Thin-layer drying, kinetic modelling, mango slices, solar-assisted hybrid dryer, moisture diffusivity

DEĞİŞEN İKLİMDE BİTKİ HASTALIKLARI: PATOJEN GELİŞİMİ, HASTALIK DİNAMİKLERİ VE YAYILIŞ ÜZERİNE ETKİLER

Ziraat Yüksek Mühendisi RABİA HANDE ŞEN
Selçuk üniversitesi,
handesn001@gmail.com -0009-0005-9893-5393

ÖZET

İklim koşullarında meydana gelen değişimler, bitki hastalıklarının ortaya çıkışı ve gelişiminde önemli değişikliklere neden olabilmektedir. Sıcaklık, yağış, nem ve kuraklık gibi çevresel faktörlerdeki değişimler; patojenlerin yaşam süreçlerini, konukçu bitki ile etkileşimlerini ve enfeksiyon koşullarını etkileyerek hastalıkların başlangıç zamanı ve gelişme seyri üzerinde belirleyici olabilmektedir. Bunun yanında rüzgâr ve yağış gibi meteorolojik olaylar ile hastalık etmenlerini taşıyan vektörlerin dağılımındaki değişimler, hastalıkların yayılış alanlarını da etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, değişen iklim koşullarının bitki patojenlerinin gelişimi, hastalık dinamikleri ve hastalıkların yayılışı üzerindeki olası etkileri bitki patolojisi açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca şeker pancarında görülen yaprak ve kök hastalıkları, iklim koşulları ile hastalık gelişimi arasındaki ilişkinin anlaşılmasına yönelik bir saha örneği olarak ele alınmıştır. Özellikle *Cercospora beticola*, *Ramularia beticola*, *Erysiphe betae* ve çeşitli kök çürüklüğü etmenleri üzerinden, farklı çevresel koşulların hastalık riskini ve gelişim dönemlerini nasıl etkileyebileceği tartışılmıştır. Değişen iklim koşullarında hastalıkların düzenli olarak izlenmesi, meteorolojik verilerle birlikte değerlendirilmesi ve erken uyarı yaklaşımlarının geliştirilmesi önem taşımaktadır. Sürdürülebilir bitki hastalığı yönetimi açısından dayanıklı çeşitlerin kullanımı, kültürel uygulamalar, biyolojik mücadele ve gerektiğinde kimyasal mücadeleyi içeren entegre yaklaşımların yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: İklim değişimi, bitki hastalıkları , hastalık dinamikleri, bitki patolojisi, hastalık yayılışı

PLANT DISEASES IN A CHANGING CLIMATE: EFFECTS ON PATHOGEN DEVELOPMENT, DISEASE DYNAMICS AND SPREAD

Ziraat Yüksek Mühendisi RABİA HANDE ŞEN
Selçuk üniversitesi,
handesn001@gmail.com -0009-0005-9893-5393

ABSTRACT

Changes in climatic conditions can lead to significant alterations in the occurrence and development of plant diseases. Variations in environmental factors such as temperature, precipitation, humidity, and drought can affect the life processes of pathogens, their interactions with host plants, and infection conditions, thereby influencing the onset and progression of diseases. In addition, changes in meteorological factors such as wind and precipitation, as well as shifts in the distribution of disease vectors, may affect the geographical spread of plant diseases. In this study, the potential effects of changing climatic conditions on pathogen development, disease dynamics, and disease spread were evaluated from a plant pathology perspective. Furthermore, foliar and root diseases observed in sugar beet were considered as a field example to help understand the relationship between climatic conditions and disease development. In particular, *Cercospora beticola*, *Ramularia beticola*, *Erysiphe betae*, and various root rot pathogens were discussed to evaluate how different environmental conditions may influence disease risk and disease development periods. Under changing climatic conditions, regular monitoring of plant diseases, evaluation of disease occurrence together with meteorological data, and the development of early warning approaches are of considerable importance. From the perspective of sustainable plant disease management, integrated approaches involving resistant varieties, cultural practices, biological control, and, when necessary, chemical control should be increasingly adopted.

Keywords: Climate change, plant diseases, disease dynamics, plant pathology, disease spread

1. GİRİŞ

Bitki hastalıkları, tarımsal üretimde verim ve kalite kayıplarına neden olabilen; gıda arzı, üretim maliyetleri ve sürdürülebilir bitki koruma uygulamaları üzerinde etkili önemli sorunlardır. Hastalıkların ortaya çıkması ve üretim alanlarında yaygınlaşması, bitkilerin gelişimini olumsuz etkileyerek ürün miktarının azalmasına ve elde edilen ürünün ticari değerinin düşmesine yol açabilir. Bu nedenle bitki hastalıklarının oluşumunu etkileyen faktörlerin belirlenmesi, hastalık risklerinin önceden değerlendirilmesi ve uygun mücadele yöntemlerinin geliştirilmesi bitkisel üretim açısından büyük önem taşımaktadır.

Bir hastalığın ortaya çıkması yalnızca hastalık etmeninin varlığına bağlı değildir. Konukçu bitkinin duyarlılığı, patojenin hastalık oluşturma kapasitesi ve çevresel koşulların enfeksiyon için uygunluğu, hastalık gelişimini birlikte belirler. Sıcaklık, bağıl nem, yağış, yaprak ıslaklık süresi ve toprak su durumu gibi faktörler; patojenlerin gelişimini, spor oluşumunu, çimlenmesini ve bitki dokularına girişini etkileyebilir. Aynı zamanda çevre koşulları, bitkilerin büyüme ve savunma süreçlerinde değişikliklere neden olarak hastalıklara karşı gösterdikleri tepkiyi de değiştirebilir. Bu nedenle çevresel faktörlerde meydana gelen değişimlerin bitki hastalıkları üzerindeki etkilerinin anlaşılması, hastalıkların yönetilmesi açısından önem taşımaktadır (Velásquez et al., 2018).

İklim değişikliği, ortalama sıcaklıklardaki değişimlerin yanı sıra yağış rejimlerinde, su kullanılabilirliğinde ve aşırı hava olaylarının sıklık veya şiddetinde meydana gelen değişimleri de kapsamaktadır. Bu değişimler tarımsal üretim sistemlerinde bitkilerin gelişme dönemlerini ve çevreyle olan etkileşimlerini etkileyebilmektedir. Özellikle sıcaklık ve nem koşullarındaki değişimler, bitki patojenlerinin yaşam döngüleri üzerinde etkili olarak enfeksiyonun gerçekleştiği dönemleri, hastalık belirtilerinin ortaya çıkışını ve hastalıkların üretim alanlarında ilerleme hızını değiştirebilir. Bununla birlikte iklim değişikliğinin etkileri yalnızca hastalık etmenleriyle sınırlı değildir; konukçu bitkilerin fizyolojik durumu, su stresi ve çevresel koşullara uyum yetenekleri de bu süreçte belirleyici olabilir (Juroszek et al., 2020; Singh et al., 2023).

İklim koşullarındaki değişimler, bazı patojenlerin gelişimi ve enfeksiyonu için daha elverişli ortamlar oluşturabilirken diğer patojenler açısından sınırlayıcı olabilir. Örneğin, belirli sıcaklık ve nem koşullarına ihtiyaç duyan patojenlerin hastalık oluşturma potansiyeli, bu koşulların görülme sıklığına ve süresine bağlı olarak değişebilir. Yağış ve nem koşullarındaki değişiklikler, özellikle yaprak yüzeyinde suyun bulunduğu süreyi etkileyerek bazı yaprak hastalıklarının gelişiminde rol oynayabilir. Buna karşılık uzun süreli kuraklık, bitkilerde su stresine neden olarak büyüme ve savunma mekanizmalarını değiştirebilir. Bu etkilerin yönü ve şiddeti, patojenin biyolojik özelliklerine, konukçu bitkinin duyarlılığına ve yetiştirme koşullarına göre farklılık gösterebilir. Dolayısıyla iklim değişikliğinin bitki hastalıkları üzerindeki etkileri bütün hastalık etmenleri için aynı şekilde değerlendirilmemelidir.

İklim değişikliğinin bitki hastalıkları açısından önem taşıyan bir diğer yönü, hastalık etmenlerinin yayılış alanları ve hastalıkların ortaya çıkma zamanları üzerindeki olası etkileridir. Sıcaklık ve yağış koşullarındaki değişimler, bazı patojenlerin belirli bölgelerde yaşamını sürdürmesini veya gelişme dönemlerini etkileyebilir. Ayrıca hastalık etmenlerinin taşınmasında

rol oynayan hava hareketleri, su, toprak, bitki materyalleri ve vektör canlılarla ilişkili süreçler de hastalıkların yayılışı bakımından önemlidir. Ancak bir patojenin yeni bir alanda görülmesi ya da bir hastalığın şiddetinde artış yaşanması, tek başına iklim değişikliğinin doğrudan etkisini kanıtlamaz. Bu tür ilişkilerin ortaya konulabilmesi için uzun dönemli gözlemler, çevresel veriler ve patojenin biyolojisini dikkate alan değerlendirmeler gereklidir.

Şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.), yaprak ve kök hastalıklarının bitkisel gelişim, kök verimi ve ürün kalitesi üzerinde etkili olabildiği önemli tarla bitkilerinden biridir. Cercospora yaprak lekesi, Ramularia yaprak lekesi ve külleme gibi yaprak hastalıkları fotosentetik alanı azaltabilirken çeşitli fungal ve fungus benzeri etmenlerin neden olduğu kök hastalıkları kök gelişimini ve ürünün pazarlanabilirliğini olumsuz etkileyebilir. Bu hastalıkların gelişimi, hastalık etmenlerinin özelliklerinin yanı sıra bitkinin gelişme dönemi ve çevresel koşullarla da ilişkilidir. Bu nedenle şeker pancarında görülen hastalıklar, iklim koşulları ile bitki hastalıkları arasındaki ilişkinin tarımsal açıdan değerlendirilmesi için örnek bir çerçeve sunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, değişen iklim koşullarının bitki hastalıkları üzerindeki olası etkilerini patojen gelişimi, hastalık dinamikleri ve yayılış çerçevesinde genel olarak değerlendirmek ve şeker pancarında görülebilen hastalık etmenleri üzerinden konuya tarımsal bir örnek sunmaktır. Bu kapsamda sıcaklık, yağış, nem, kuraklık ve aşırı hava olaylarının hastalık süreçleriyle ilişkisi ele alınmış; bitki hastalıklarının izlenmesi ve yönetilmesinde çevresel koşulların dikkate alınmasının önemi vurgulanmıştır. Çalışma bir literatür değerlendirmesi niteliğindedir. Şeker pancarına ilişkin örnekler, yerel iklim verileriyle istatistiksel olarak ilişkilendirilmiş sonuçlar olarak sunulmamakta; iklim koşulları ile bitki hastalıkları arasındaki olası ilişkilerin açıklanmasına yardımcı olan tarımsal örnekler olarak değerlendirilmektedir.

2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN BİTKİ HASTALIKLARINA ETKİLERİ

2.1. Sıcaklık değişimleri

Sıcaklık, bitki patojenlerinin gelişme hızı, çoğalma kapasitesi, spor oluşumu, çimlenmesi ve konukçu bitkiyle etkileşimleri üzerinde etkili temel çevresel faktörlerden biridir. Patojenlerin çoğunun gelişebildiği belirli sıcaklık aralıkları bulunur. Bu aralıklarda gerçekleşen değişimler, enfeksiyonun gerçekleşme olasılığını ve hastalık belirtilerinin ortaya çıkma süresini etkileyebilir. Uygun sıcaklık koşullarında bazı patojenlerin yaşam döngüsü hızlanabilir ve bir üretim sezonu içinde daha fazla enfeksiyon döngüsü gerçekleşebilir. Bununla birlikte, sıcaklığın optimum düzeyin üzerine çıkması patojen gelişimini yavaşlatabilir veya engelleyebilir. Bu nedenle sıcaklık artışının her hastalığı artıracağı şeklinde genel bir yargıya varılmamalıdır (Velásquez et al., 2018; Kumar & Mukhopadhyay, 2025).

Sıcaklık değişimleri konukçu bitkinin büyümesini, fenolojik gelişimini ve savunma tepkilerini de etkileyebilir. Bitkinin gelişme döneminin değişmesi, patojenin konukçu ile karşılaşma zamanını ve bitkinin hastalığa duyarlı olduğu dönemin uzunluğunu değiştirebilir. Bu nedenle hastalık riskinin değerlendirilmesinde yalnızca ortalama sıcaklık değil, günlük sıcaklık dalgalanmaları, gece sıcaklıkları ve bitkinin gelişme evresi de dikkate alınmalıdır.

2.2. Yağış ve nem değişimleri

Yağış, bağıl nem ve yaprak ıslaklığı birçok fungal ve bakteriyel hastalığın gelişiminde önemli rol oynar. Uygun nem koşulları bazı fungal patojenlerde sporların çimlenmesini ve enfeksiyonun gerçekleşmesini destekleyebilir. Yağmur damlaları, yüzey akışı ve sulama suyu, bazı hastalık etmenlerinin bitki veya tarla içinde taşınmasına katkıda bulunabilir. Rüzgârla birlikte gerçekleşen yağış, sporların ya da bakterilerin daha uzak mesafelere taşınmasını kolaylaştırabilir. Bununla birlikte, etkiler patojenin biyolojisine ve bitki yüzeyinde oluşan nemin süresine bağlıdır.

Yağış miktarının artması her zaman hastalık riskinin artacağı anlamına gelmez. Yağışın zamanı, şiddeti, süresi, ardından gelen sıcaklık koşulları ve drenaj durumu da önemlidir. Uzun süreli yaprak ıslaklığı bazı yaprak hastalıklarını destekleyebilirken, aşırı su birikimi bitki köklerini strese sokarak farklı kök hastalıkları açısından elverişli koşullar oluşturabilir. Buna karşılık, yağışın azalması ve düşük nem bazı patojenlerin enfeksiyonunu sınırlandırabilir.

2.3. Kuraklık ve su stresi

Kuraklık bitkilerde su stresine yol açarak büyümeyi, metabolik süreçleri ve savunma mekanizmalarını değiştirebilir. Su stresinin hastalık üzerindeki etkisi, konukçu bitki ve patojen türüne göre farklılık gösterir. Bazı durumlarda stres altındaki bitkilerin belirli hastalıklara duyarlılığı artabilir; başka durumlarda ise patojenin ihtiyaç duyduğu nem koşulları ortadan kalktığı için hastalık gelişimi sınırlanabilir. Bu nedenle kuraklığın hastalıkları genel olarak artırdığı veya azalttığı söylenemez (Velásquez et al., 2018; Singh et al., 2023).

Kuraklıkla birlikte yüksek sıcaklıkların görülmesi bitki üzerindeki baskıyı artırabilir. Kurak dönemden sonra gerçekleşen ani yağış veya sulama değişimleri ise toprak nemini ve kök bölgesindeki koşulları hızla değiştirebilir. Kök hastalıkları bakımından risk değerlendirmesi yapılırken toprak yapısı, drenaj, sulama yöntemi, bitkinin gelişme evresi ve hastalık etmeninin biyolojisi birlikte ele alınmalıdır.

2.4. Aşırı hava olayları

Sıcak hava dalgaları, ani sıcaklık düşüşleri, aşırı yağış, sel ve kuvvetli rüzgâr gibi olaylar bitki sağlığını doğrudan veya dolaylı biçimde etkileyebilir. Aşırı hava olayları bitki dokularında yaralanmalara, su stresine, kök bölgesinde oksijen azalmasına ve bitki örtüsünün yapısında değişimlere neden olabilir. Bu etkiler, bazı patojenlerin enfeksiyonunu kolaylaştırabilir veya hastalık gelişimini sınırlayabilir. Ayrıca aşırı olaylar, patojenlerin taşınma yollarını ve konukçu bitkilerin dağılımını değiştirebilir. İklim uçlarının patojenler, bitki mikrobiyomu ve bitki sağlığı üzerindeki etkileri karmaşık olup, tek bir çevresel değişkene indirgenmemelidir (Xiong et al., 2026).

3. PATOJEN GELİŞİMİ, HASTALIK DİNAMİKLERİ VE YAYILIŞI

3.1. Patojen gelişimi ve enfeksiyon süreçleri

Patojen gelişimi; etmenin hayatta kalması, çoğalması, enfeksiyon oluşturması ve yaşam döngüsünü tamamlaması gibi süreçleri kapsar. İklim koşullarındaki değişimler bu süreçlerin

hızını ve başarısını etkileyebilir. Patojen için uygun sıcaklık ve nem koşulları, bazı durumlarda spor çimlenmesini ve enfeksiyon oluşumunu hızlandırabilir. Bununla birlikte, her patojenin çevresel gereksinimleri farklıdır ve uygun koşulların sürekliliği kadar koşulların zaman içindeki değişimi de önemlidir.

Enfeksiyon ile ilk görünür belirtinin ortaya çıkması arasında geçen süre inkübasyon (kuluçka) süresi olarak adlandırılır. Bu süre, patojenin türüne ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebilir. Tarlada görülen ilk yaprak lekesi, sararma veya çürüme, hastalık sürecinin mutlaka o gün başladığını göstermez; enfeksiyon daha önce gerçekleşmiş olabilir. Bu nedenle yalnızca görünür belirtilere dayalı gözlemler, hastalığın başlangıç zamanını belirlemek için yeterli olmayabilir. Düzenli arazi kontrolleri ve meteorolojik kayıtların birlikte değerlendirilmesi hastalık gelişiminin daha doğru yorumlanmasına yardımcı olur.

3.2. Hastalık dinamiklerinin zamansal değişimi

Hastalık dinamikleri, hastalığın zaman içindeki ortaya çıkışını, ilerleme hızını, şiddetini ve üretim sezonu boyunca izlediği seyri ifade eder. İklim koşullarının değişmesi, bazı hastalıkların daha erken veya daha geç görülmesine, hastalık şiddetinin farklılaşmasına ya da enfeksiyon dönemlerinin değişmesine yol açabilir. Ancak bu değişimlerin yönü patojenin çevresel gereksinimlerine, bitkinin duyarlı olduğu gelişme dönemine ve tarımsal uygulamalara bağlıdır.

Hastalık dinamiklerinin izlenmesi, hastalık yönetimi kararlarının zamanında alınması açısından önemlidir. Örneğin, uygun çevre koşullarıyla birlikte hastalık belirtilerinin artış göstermesi, arazi gözlemlerinin sıklaştırılmasını ve risk değerlendirmesinin güncellenmesini gerektirebilir. Hastalık tahmin modelleri, sıcaklık, yağış, bağıl nem ve yaprak ıslaklığı gibi verilerden yararlanabilir; ancak bu modellerin yerel koşullara göre doğrulanması gerekir.

3.3. Hastalık etmenlerinin yayılışı

Hastalık etmenleri rüzgâr, yağmur sıçraması, sulama suyu, toprak ve bitki artıkları, enfekteli çoğaltım materyali veya vektör canlılar aracılığıyla taşınabilir. İklim koşullarındaki değişimler bu taşıma yollarının etkinliğini, patojenlerin çevrede hayatta kalma olasılığını ve uygun konukçu bulabilecekleri alanları etkileyebilir. Örneğin, rüzgâr ve yağış bazı etmenlerin bitki örtüsü içinde veya tarlalar arasında taşınmasına katkıda bulunabilir. Vektörlerle taşınan patojenlerde ise vektörün gelişimi, aktivitesi ve coğrafi dağılımı önem kazanır (Singh et al., 2023).

Ilıman geçen kışlar bazı patojenlerin enfekteli bitki artıkları, toprak veya canlı konukçular üzerinde hayatta kalmasını kolaylaştırabilir. Buna karşılık, sert kış koşulları bazı etmenlerin canlılığını azaltabilir; ancak bu etki patojenin dayanıklılığına, bulunduğu mikroçevreye ve yaşam evresine bağlıdır. Dolayısıyla ılıman kışların her patojen için inokulum miktarını artıracağı veya sert kışların patojenleri tamamen ortadan kaldıracağı varsayılmamalıdır. Yeni alanlara yayılış değerlendirilirken iklimin yanı sıra ticaret, bitki materyali hareketi, arazi kullanımı ve üretim uygulamaları da dikkate alınmalıdır.

4. ŞEKER PANCARINDA HASTALIK ETMENLERİ ÜZERİNDEN BİR DEĞERLENDİRME

Şeker pancarı, yaprak hastalıkları ve kök çürüklükleri nedeniyle verim ve kalite kayıpları yaşayabilen tarla bitkilerindendir. Yaprak dokusunu etkileyen hastalıklar fotosentetik alanı azaltabilir; kök hastalıkları ise kökün gelişimini ve hasat edilen ürünün kalitesini olumsuz etkileyebilir. Konya ilinde şeker pancarında fungal kök çürüklüklerinin varlığı ve önemi daha önce de araştırılmıştır (Kaya et al., 2020). Bu durum, şeker pancarı hastalıklarının hem tarla hem de üretim ekonomisi bakımından izlenmesinin önemini göstermektedir.

Şeker pancarında yaprak lekesi etmeni Cercospora beticola, yaprak hastalıklarının değerlendirilmesinde dikkate alınan önemli patojenlerden biridir. Sıcaklık, bağıl nem ve yaprak ıslaklığı gibi çevresel faktörler bu etmenin enfeksiyon ve hastalık gelişimiyle ilişkili olabilir. Ancak hastalık şiddetini yalnızca sıcaklık artışıyla açıklamak doğru değildir; çeşit duyarlılığı, bitki gelişme dönemi, tarla içi nem koşulları, ürün artıkları ve hastalık yönetimi uygulamaları da değerlendirilmelidir.

Şeker pancarında Ramularia beticola ve külleme etmeni Erysiphe betae gibi yaprak hastalıkları da hastalık spektrumunun bir parçasıdır. Farklı patojenlerin çevresel gereksinimleri aynı olmadığından, aynı mevsim içinde sıcaklık ve nem değişimlerinin her hastalık üzerinde eşit etki göstermesi beklenmemelidir. Bu etmenlerin görülme zamanları ve şiddetleri düzenli arazi gözlemleriyle kaydedilmeli, mümkün olduğunda meteorolojik verilerle birlikte analiz edilmelidir.

Kök çürüklükleri açısından Rhizoctonia spp., Fusarium spp., Pythium spp. ve Macrophomina phaseolina gibi etmenler şeker pancarı üretiminde değerlendirilebilecek örneklerdir. Toprak nemi, sıcaklık, drenaj, bitki stresi ve tarımsal uygulamalar kök bölgesindeki hastalık gelişimini etkileyebilir; ancak her etmenin çevresel gereksinimi farklıdır. Özellikle yalnızca saha belirtisine dayanarak tür düzeyinde kesin tanı koymaktan kaçınılmalı; gerekli durumlarda laboratuvar tanısı ve uygun moleküler yöntemlerle doğrulama yapılmalıdır.

Ilgın ve Akşehir ilçelerindeki şeker pancarı üretim alanlarında fungal ve fizyolojik hastalıkların incelenmesi, hastalıkların arazi ve laboratuvar düzeyinde değerlendirilmesine yönelik bir saha örneği sunmaktadır. Bununla birlikte, belirli hastalıkların iklim değişikliği nedeniyle arttığını veya daha erken ortaya çıktığını ileri sürmek için çok yıllı hastalık kayıtları ile yerel meteorolojik verilerin birlikte incelenmesi gerekir. Bu nedenle şeker pancarı örneği burada iklim değişikliğinin doğrudan etkisini kanıtlamak için değil, hastalık gözlemlerinin çevresel verilerle birlikte yorumlanmasının önemini vurgulamak amacıyla ele alınmıştır.

5. HASTALIK YÖNETİMİ VE UYUM YAKLAŞIMLARI

Değişen iklim koşullarında bitki hastalıklarının yönetimi, tek bir mücadele yöntemine dayandırılmamalıdır. Hastalığa dayanıklı veya toleranslı çeşitlerin kullanılması, münavebe, bitki artıklarının uygun şekilde yönetilmesi, dengeli gübreleme, doğru sulama ve tarla hijyeni gibi kültürel uygulamalar temel öneme sahiptir. Toprak kökenli hastalıklarda drenaj ve sulama

yönetimi, yaprak hastalıklarında ise bitki örtüsü içinde nemin uzun süre korunmasına yol açan koşulların değerlendirilmesi yararlı olabilir.

Erken uyarı ve hastalık tahmin sistemleri, meteorolojik veriler ile düzenli arazi gözlemlerinin bir araya getirilmesine dayanmalıdır. Bu sistemlerin kullanılabilmesi için hastalık belirtilerinin standart yöntemlerle kaydedilmesi, patojen tanısının mümkün olduğunca doğrulanması ve modellerin yerel üretim koşullarında sınanması gerekir. Kimyasal mücadele gerektiğinde ürün etiketi, ruhsat durumu, uygulama zamanı ve direnç yönetimi ilkelerine uyulmalı; biyolojik mücadele ve diğer uygun yöntemlerle birlikte entegre bir yaklaşım benimsenmelidir.

Uzun dönemli izleme çalışmaları, iklim değişkenliği ile hastalık riskleri arasındaki ilişkilerin daha güvenilir biçimde değerlendirilmesine katkı sağlar. Bu kapsamda tarla gözlemleri, hastalık şiddeti kayıtları, ürün gelişme evreleri, sulama bilgileri ve yerel meteorolojik veriler aynı zaman ölçeğinde toplanmalıdır. Böylece gözlenen değişimlerin iklim, üretim uygulamaları veya diğer etkenlerle ilişkisi daha sağlıklı biçimde ayrıştırılabilir.

6. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

İklim değişikliği, sıcaklık, yağış, nem ve kuraklık gibi çevresel faktörlerde meydana gelen değişimler aracılığıyla bitki patojenlerinin gelişimini, konukçu bitkilerin fizyolojik durumunu ve hastalık etmenlerinin yayılışını etkileyebilmektedir. Bu değişimler, patojenlerin yaşam döngülerinde, enfeksiyon süreçlerinde ve bitkilerde hastalık belirtilerinin ortaya çıkma zamanında farklılıklara yol açabilmektedir. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin bütün bitki hastalıkları üzerinde aynı yönde bir etki oluşturması beklenmemelidir. Patojenlerin biyolojik özellikleri, çevresel koşullara toleransları, konukçu bitkinin duyarlılığı ve yetiştirme koşulları, hastalıkların gelişiminde belirleyici unsurlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle iklim değişikliği ile bitki hastalıkları arasındaki ilişkilerin, patojen–konukçu–çevre etkileşimi çerçevesinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Sıcaklık değişimleri, yağış rejimindeki düzensizlikler ve nem koşullarındaki farklılıklar, bazı patojenlerin gelişimi ve enfeksiyon oluşturma kapasitesi açısından uygun koşullar meydana getirebilirken, diğer patojenlerin gelişimini sınırlandırabilmektedir. Özellikle patojenlerin gelişimi için elverişli çevre koşullarının oluştuğu dönemlerin değişmesi, hastalıkların ortaya çıkış zamanını ve üretim sezonu içerisindeki seyrini etkileyebilir. Benzer şekilde, kuraklık ve aşırı hava olayları bitkilerde stres oluşturarak hastalıklara karşı duyarlılığı değiştirebilir. Bu durum, hastalık risklerinin yalnızca tek bir iklim değişkeni üzerinden değil, birden fazla çevresel faktörün birlikte değerlendirilmesiyle belirlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Şeker pancarında görülebilen *Cercospora beticola* kaynaklı yaprak lekesi, *Ramularia beticola* kaynaklı yaprak hastalığı, külleme ve çeşitli fungal kök çürüklükleri, çevresel koşullar ile bitki hastalıkları arasındaki ilişkinin tarımsal üretim açısından önemini göstermektedir. Yaprak hastalıkları bitkinin fotosentetik alanını ve gelişimini olumsuz etkileyebilirken, kök çürüklükleri kök gelişiminde ve ürün kalitesinde kayıplara neden olabilmektedir. Bununla birlikte, bu hastalıkların ortaya çıkışı ve şiddeti yalnızca iklim koşullarıyla açıklanamaz. Bitki çeşidi, münavebe, toprak özellikleri, sulama uygulamaları, bitki artıkları ve hastalık

etmenlerinin biyolojik özellikleri de hastalık gelişiminde etkili olabilmektedir. Dolayısıyla şeker pancarında hastalıkların değerlendirilmesinde çevresel koşulların diğer üretim faktörleriyle birlikte ele alınması önem taşımaktadır.

İklim değişikliğinin belirli hastalıklar üzerindeki etkilerinin güvenilir biçimde ortaya konulabilmesi için düzenli ve uzun dönemli gözlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Tek bir üretim sezonunda gerçekleştirilen arazi gözlemleri, hastalık etmenlerinin varlığının ve belirtilerinin belirlenmesine katkı sağlamakla birlikte, gözlenen değişimlerin doğrudan iklim değişikliğinden kaynaklandığını kanıtlamak için tek başına yeterli değildir. Bu kapsamda hastalık görülme sıklığı ve şiddeti, patojen tanıları, bitkilerin gelişme dönemleri ve yerel meteorolojik verilerin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca farklı üretim bölgelerinde yapılacak karşılaştırmalı çalışmalar, iklim koşullarının hastalık gelişimi üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

Değişen iklim koşullarında bitki hastalıklarının yönetimi açısından düzenli arazi gözlemleri, erken tanı ve hastalık risklerinin önceden değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Sıcaklık, yağış, bağıl nem ve yaprak ıslaklığı gibi meteorolojik verilerden yararlanılması, hastalık tahmin ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Bununla birlikte, bu sistemlerin farklı bölgelerdeki üretim koşullarına göre değerlendirilmesi ve doğrulanması gerekmektedir. Hastalık yönetiminde dayanıklı veya toleranslı çeşitlerin tercih edilmesi, uygun münavebe uygulamaları, bitki artıklarının yönetimi, dengeli sulama, tarla hijyeni ve gerektiğinde uygun mücadele yöntemlerinin kullanılması, entegre bitki hastalıkları yönetiminin temel bileşenleri arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak, iklim değişikliği karşısında bitki sağlığının korunması, yalnızca mevcut hastalıkların kontrol altına alınmasını değil, hastalık risklerindeki olası değişimlerin önceden belirlenmesini de gerektirmektedir. Patojenlerin gelişimi, hastalık dinamikleri ve yayılış yollarının birlikte değerlendirilmesi, bitki koruma uygulamalarının değişen çevresel koşullara uyarlanmasına katkı sağlayacaktır. Gelecekte yürütülecek çalışmaların uzun dönemli hastalık gözlemlerine, yerel meteorolojik verilerin analizine ve patojen–konukçu–çevre etkileşimlerinin deneysel olarak incelenmesine odaklanması önemlidir. Bu yaklaşım, hastalık risklerinin daha doğru değerlendirilmesine, üretim kayıplarının azaltılmasına ve sürdürülebilir tarımsal üretimin desteklenmesine katkı sağlayacaktır.

7. **KAYNAKLAR**

Acharya, K., Dutta, A. K., & Pradhan, P. (2011). *Bipolaris sorokiniana (Sacc.) Shoemaker: The most destructive wheat fungal pathogen in the warmer areas.***Crop Protection, 30**(7), 843–850.

Adıyaman, M. (2011a). Kök Yanıklığı. Teknik Bülten No: 2. Sesvanderhave International B.V., Ankara, 1.

Altınok, H. H. (2016). Şeker pancarında görülen fungal hastalıkların yayılış alanları ve kontrol yöntemleri. *Bitki Koruma Bülteni,* 56(3), 217–228.

Anonim (1999). Şeker Pancarı Tarımı ve Şeker Sanayii Raporu. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayınları, Ankara.

Anonim (1999). Türkiye'de Şekerpancarı Tarımı ve Üretim Potansiyeli Üzerine Değerlendirmeler. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

Anonim (2008). Şeker Pancarı Üretim Raporu. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş., Ankara.

Anonim (2008). Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Şeker Sektör Raporu 2008. Ankara.

Anonim (2013). Türkiye Şeker Sektörü Raporu. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Yayınları, Ankara.

Anonim (2014a). Dünya Şeker Pancarı Üretim İstatistikleri. FAO ve Dünya Şeker Örgütü Verileri.

Anonim (2017a). Türkiye Bitkisel Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Ankara.

Anonim (2017b). Şeker Pancarı Tarımının Ekonomik ve Sosyal Etkileri Üzerine Rapor. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları, Ankara.

Anonim (2023). Türkiye şeker üretim istatistikleri. Erişim adresi: https://www.turkseker.gov.tr/istatistik (Erişim Tarihi: 12.05.2025).

Anonim (2023). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Bitki hastalıkları ve yabancı otlar için zirai mücadele teknik talimatları. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM). Erişim adresi: https://data.tuik.gov.tr/ (07.06.2025).

Anonim, 2022. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. Şeker pancarı üretim raporu. Erişim adresi: https://www.tarimorman.gov.tr/raporlar/sekerpancari.pdf (05.06.2025).

Asher, M. J. C., 1986, The occurrence and control of sugar-beet powdery mildew, Conference on crop protection of sugar beet and crop protection and quality of potatoes, held at the University of Cambridge, UK on Dec. 15 – 17.

Avan, M. ve Katırcıoğlu, Y. Z. (2019). Şeker pancarlarında görülen *Rhizoctonia* türlerinin özellikleri, oluşturduğu hastalıklar ve korunma yolları. *ADÜ Ziraat Dergisi*, 16(1), 105–112.

Avan, M. ve Katırcıoğlu, Y. Z. (2020). Bazı fungisitlerin şeker pancarı kök çürüklüğü ve çökerten etmeni *Rhizoctonia solani*'ye karşı etkileri. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 2(2), 169–189.

Avan, M., Aksoy, C., Katırcıoğlu, Y. Z., Demirci, F., & Kaya, R. (2020). Sugar beet root rot caused by oomycetous pathogens in Konya. *Tarım Bilimleri Dergisi (Aperta).*

Avan, M., Palacıoğlu, G., Aksoy, C., Kaya, R., Bayraktar, H., Katırcıoğlu, Y. Z., & Maden, S. (2021). Characterization and pathogenicity of *Rhizoctonia* species causing root rot and damping-off on sugar beet in Turkey. *Current Microbiology, 78*(5), **1939–1948.**

Barnett, H.L ve Hunter, B.B., 1986, Illustrated Genera of ımperfect Fungi, Third Edition, Burgess Publishing Co., Minneapolis, Minn., 218.

Baştaş, K. K., Boyraz, N. ve Maden, S. (2004). Türkiye'de ekimi yapılan bazı şeker pancarı tohumlarındaki fungal floranın belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(33), 87–89.

Blanco, R., & Aveling, T. A. S. (2018). Seed-borne *Fusarium* pathogens in agricultural crops. *Acta Horticulturae*, **1204,** 161–170.

Bolat, İ., ve Kara, Ö. (t.y.). **Bitki besin elementleri: Kaynakları, işlevleri, eksik ve fazlalıkları.** Bartın Üniversitesi Orman Fakültesi; Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi.

Bolton, M. D., & Panella, L. (2020). *Cercospora beticola*: The intoxicating lifestyle of the leaf spot pathogen of sugar beet. Molecular Plant Pathology, 21(9), 1143-1157.

Bora, T. ve Karaca, İ. (1970). Kültür bitkilerinde hastalığın ve zararın ölçülmesi. E.Ü. Ziraat Fakültesi, Yardımcı Ders Kitabı No: 167.

Booth, C. (1971). *The Genus Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey.

Budakov D., Nagl N., Stojsin V., Taski-Ajdukovic K., Bagi F., Neher O. T. (2015). Şeker pancarı kömür kökü çürümesinin nedeni olan Macrophomina phaseolina'nın morfolojik, kültürel, patojenik ve genetik özellikleri. Fitopatoloji 105:21.

Christ, D. S., Märländer, B., ve Varrelmann, M. (2011). *Avrupa'da taze hasat edilen ve depolanmış şeker pancarında Fusarium türlerinin karakterizasyonu ve mikotoksijenik potansiyeli*. **Fitopatoloji,** 101(11), 1330–1337.

Christ, D., & Varrelmann, M. (2011). *Fusarium* in sugar beet. *Sugar Industry / Zuckerindustrie,* **136**(3), 161–171.

Chupp, C., 1953, A Monograph of the Fungus Genus Cercospora, Ithaca, NY.

Çalışkan, M. E. (t.y.). *Bitki Fizyolojisi*. Tarla Bitkileri Bölümü.Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2333520 (Erişim tarihi: 13.05.2025).

Çatal, M. İ., & Akınerdem, F. (2013). Konya koşullarında bazı şeker pancarı çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, **27**(2), 112–120.

Doğru, A. (2019). Bitkilerde düşük sıcaklık stresi ve soğuğa uyum. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (Journal of Natural and Applied Sciences)*, **2**(1), 45–52.

Domsch, K. H., Gams, W., & Anderson, T. H. (1980). *Compendium of soil fungi*. London: Academic Press, **859.**

Francis, S., 2002. Sugar-beet Powdery Midew (Erysiphe betae), Molacular Plant Pathology, 3:119 – 124.

Hanson, L.E. and McGrath, J.M., 2011, The perfect stage of powdery mildew (*Erysiphe polygoni*) of *Beta vulgaris* found in Michigan, Plant Disease 95 (4) St. Paul: American Phytopathological Society (APS Press), 494.

Harveson, R.M., 2004, Widespread occurrence of the perfect stage of powdery mildew caused by *Erysiphe* polygoni on sugar beets in Nebraska, Plant Disease 88 (9) St. Paul: American Phytopathological Society (APS Press), 1049.

Hoheneder, F., Hofer, K., Groth, J., Herz, M., Heß, M., & Hückelhoven, R. (2021).*Ramularia* leaf spot disease of barley is highly host genotype-dependent and suppressed by continuous drought stress in the field.Journal of Plant Diseases and Protection, 128, 749–767.

İlisulu, K. (1986). Endüstri Bitkileri ve Yetiştiriciliği. Ankara Üniversitesi Yayınları. Kacar, B. ve Katkat, V. (2007). Bitki Besleme. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Johnston., A. and C., Booth, 1983, Plant Pathologist‟s Pocketbook. Second Edition, Commonwealth Mycological Institute, England, 439.

Karyağdı, Ö. F., ve Eken, C. (2016). Pasinler ilçesi (Erzurum)'nde şeker pancarı (*Beta vulgaris*) bitkilerinden izole edilen *Fusarium* spp. ve patojeniteleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **20**(2), 261–265.

Kandilci, 2006. Adana Yöresinde Bitkisel Ürünlerde ve Yabancı Otlar Üzerinde Görülen Külleme Hastalıkları ve Etmenleri (Yüksek Lisans), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, B.K. Anabilim Dalı, Adana, 33.

Kaya, R., Avan, M., Aksoy, C., Demirci, F., Katırcıoğlu, Y. Z., & Maden, S. (2020). *Occurrence and importance of root rots caused by fungal pathogens on sugar beet grown in Konya province of Turkey*.**Sugar Industry / Zuckerindustrie, 145**(11), 674–681.

Kaya, M. (2023). Şeker pancarında verim analizleri. Tarım Bilgi Sistemi. Erişim adresi: https://www.tarimbilgi.gov.tr/verim-analiz (Erişim Tarihi: 17.07.2025).

Kaya, R. (2009). Türkiye'de şeker pancarı ekim alanlarında *Rhizomania* hastalığının yayılma durumu. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 15(4), 332–340.

Keskin, N. (2003). Şeker pancarı tarımı ve ekonomik önemi. Türkiye Şeker Fabrikaları Yayınları.

Kiewnick, S., Jacobsen, B. J., Braun-Kiewnick, A., Eckhoff, J. L. A., & Bergman, J. W. (2001). **Integrated control of sugar beet root rot with fungicides and antagonistic bacteria.** *Plant Disease,* **85**(7), 718–722.

Lotfalinezhad, E., Mehri, Z., & Sanei, S. J. (2013).Temperature response of *Macrophomina phaseolina* isolates from different climatic regions of Iran.Annual Research & Review in Biology, 3(4), 724–734.

Majumdar, R., Strausbaugh, C. A., Galewski, P. J., Minocha, R., & Rogers, C. W. (2022). *Cell-wall-degrading enzymes-related genes originating from Rhizoctonia solani increase sugar beet root damage in the presence of Leuconostoc mesenteroides.* **International Journal of Molecular Sciences, 23**(3), 1366.

Misra, V., Mall, A. K., & Singh, D. (2023). *Rhizoctonia root-rot diseases in sugar beet: Pathogen diversity, pathogenesis and cutting-edge advancements in management research.* **The Microbe, 1,** 100011.

Negiş, H., Şeker, C., & Gümüş, İ. (2019). **Dönemsel tarla trafiğinin şeker pancarı tarımında toprak sıkışmasına etkisi.** *Selçuk Tarım Bilimleri Dergisi,* **3**(1), 103–107.

Özgönen, H. ve Çulal Kılıç, H. (2009). Isparta ili şekerpancarı ekim alanlarında fungal hastalıkların ve yaygınlık oranlarının belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi,* 4(1), 16–22.

Özgür, O. E. (1995). Şeker Pancarı Hastalıkları. Şeker Enstitüsü Yayınları, Yayın No: 202, Ankara.

Özgür, O.E., (2003). Türkiye Şeker Pancarı Hastalıkları. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Genel Müdürlüğü, Yayın No: 5, Amasya, 109.

Payne, P.A., Asher, M.J.C. and Kershaw, C. D., 1994, The incidence of *Pythium* spp. and *Aphanomyces cochlioides* associated with the sugar-beet growing soils of Britain, Plant Pathology, Volume 43, Issue 2, pages 300–308.

Pişkin, A. (2022). Bor noksanlığının tanısı ve borun Elbistan çevresinde yetiştirilen şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.)'nın verim ve kalite değerleri üzerine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Yayınları – Araştırma Makalesi.*

Poindexter, S. (2011). *Şeker pancarında mikrobesin eksikliklerine dikkat edin*. Michigan State University Extension. Erişim adresi: https://www.canr.msu.edu/news/watch_for_micronutrient_deficiencies_in_sugarbeets(Erişim Tarihi: 20.07.2025).

Rahımı, A., Arslan, N., & Esmzad, S. (2016). Mikro elementlerin (Fe, Zn, B ve Mn), şeker pancarında (*Beta vulgaris* L.) kalite kriterleri üzerine etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, **25**(Özel Sayı-2), 71–76.

Rahimzadeh Karvansara, P., & Razavi, S. M. (2019). **Physiological and biochemical responses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to ultraviolet-B radiation**. *PeerJ*, **7.**

Raoufi, M., Farrokhinejad, R., & Mahmoudi, B. (2004). Identification and pathogenicity of *Fusarium* species associated with root and crown rot of sugar beet in Iran. Journal of Sugar Beet, 19(2), 109-122.

Richerzhagen, D., Racca, P., Zeuner, T., Kuhn, C., Falke, K., Kleinhenz, B., & Hau, B. (2011). Impact of climate change on the temporal and regional occurrence of *Cercospora* leaf spot in Lower Saxony. *Journal of Plant Diseases and Protection*, **118***(*5), 168–177.

Sarı, A. (2019). Konya ili Çumra yöresinde şekerpancarı yetiştiriciliğinde görülen fungal kaynaklı hastalıkların tespiti ve yaygınlığı. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Sewelam, N., El-Shetehy, M., Mauch, F., & Maurino, V. G. (2021**). Combined abiotic stresses repress defense and cell wall metabolic genes and render plants more susceptible to pathogen infection.** *Plant Physiology*, **187**(1), 317–330.

Skaracis, G.N., Pavli, O.I., Biancardi, E., 2010, *Cercospora* Leaf Spot Disease of Sugar Beet, Sugar Tech (September and December 2010) 12(3–4):220–228.

Song, X., Şarkis, B., Huo, J., Liu, H., Adil, M. F., Jia, Q., Wu, W., Kürban, A., Wang, Y., & Huang, W. (2022). *Bor eksikliğinin şeker pancarı çeşitlerinin fotosentetik performansı üzerindeki etkisi ve karşıt bor verimliliği*. **Frontiers in Plant Science, 13.**

Solel, Z., and Wahl, I. (1971). Pathogenic specialization of *Cercospora beticola.* Phytopathology, 61(9), 1081-1083.

StojsinV. B.,Budakov D. B.,Bagi F. F., Duragin N. B., NeherO. T(2012). Macrophomina phaseolina (Tassi Goid.), şeker pancarı kömür kökü çürümesinin nedeni. Fitopatoloji 102:115.

Sürel, B. ve Boyraz, N. (2009). Şeker pancarı silolarında görülen fungal kaynaklı kök çürümeleri ve çürümeleri etkileyen bazı faktörler üzerine bir araştırma. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 23(49), 81–87.

ARALIKLI ORUCUN METABOLİZMA, BAĞIRSAK MİKROBİYOTASI VE MERKEZİ SİNİR SİSTEMİ ÜZERİNE ETKİLERİ: ANLATISAL BİR DERLEME

EFFECTS OF INTERMITTENT FASTING ON METABOLISM, GUT MICROBIOTA AND THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM: A NARRATIVE REVIEW

Öğrenci, Arzum Keskin
İzmir Demokrasi Üniversitesi Tıp Fakültesi
arzummk1@gmail.com – 0009-0000-0108-9519

Prof. Dr. Başak Yavuz
İzmir Demokrasi Üniversitesi Tıp Fakültesi
drbasakbuyuk@gmail.com – 0000-0003-1817-2241

Op. Dr. Enver Tekin
Sağlık Bilimleri Üniversitesi İzmir Dr. Suat Seren Göğüs Hastalıkları Ve Cerrahisi Eğitim Ve Araştırma Hastanesi, Genel Cerrahi Kliniği
envertekinmd@gmail.com – 0009-0009-9056-0311

ÖZET

Aralıklı oruç, beslenme zamanlamasını değiştirerek açlık ve tokluk dönemleri arasında tekrarlayan metabolik geçişler oluşturan bir beslenme yaklaşımıdır. Son yıllarda kilo kontrolü ve glisemik düzenlemenin ötesinde immünometabolizma, bağırsak mikrobiyotası, bağırsak-beyin ekseni ve nöroplastisite üzerindeki olası etkileri nedeniyle de ilgi görmektedir. Bu derlemede 2017-2026 yılları arasında yayımlanan, aralıklı orucun metabolik, gastrointestinal ve nörolojik etkilerini değerlendiren hakemli çalışmalar tematik olarak incelendi. Kaynak seti; sistematik derlemeler, anlatısal derlemeler, randomize klinik bir çalışma ve deneysel hayvan çalışmalarını içermektedir. Bulgular; metabolik esneklik, glukoz-lipid metabolizması, immün yanıt, bağırsak mikrobiyotası ve bariyer fonksiyonu, merkezi sinir sistemi etkileri ve güvenlilik başlıkları altında sentezlendi. İnsan çalışmalarında aralıklı oruç; kilo kaybı, insülin duyarlılığı ve bazı kardiyometabolik belirteçlerde iyileşme ile ilişkilendirilmiştir. Bununla birlikte bu etkilerin ne kadarının açlık süresinden, ne kadarının toplam enerji kısıtlamasından kaynaklandığı her çalışmada ayrıştırılamamaktadır. Bağırsak mikrobiyotası çalışmalarında kompozisyon ve çeşitlilikte değişiklikler bildirilmiş, ancak sonuçlar belirgin heterojenlik göstermiştir. Deneysel veriler keton cisimleri, otofaji, AMPK-mTOR sinyali, nörotrofik faktörler ve immünometabolik yollar üzerinden olası mekanizmaları desteklemektedir. Nörolojik alanda hayvan verileri güçlü olmakla birlikte, insanlarda bilişsel yararları gösteren kanıtlar daha sınırlıdır. Yakın tarihli küçük bir randomize çalışmada, insülin direnci bulunan ileri yaştaki bireylerde 5:2 aralıklı oruç rejimi kilo kaybı sağlamış ve bazı bilişsel ölçümlerde yarar göstermiştir. Aralıklı oruç metabolik sağlığı etkileyebilen ve bağırsak-beyin ekseni dahil olmak üzere birden fazla biyolojik sistemi modüle edebilen umut verici bir yaklaşım olarak görünmektedir. Bununla birlikte protokoller, çalışma popülasyonları ve sonlanım ölçütleri arasındaki farklılıklar nedeniyle bulgular genellenirken dikkatli olunmalıdır. Uzun süreli ve iyi kontrollü insan çalışmalarına ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler : aralıklı oruç; zaman kısıtlı beslenme; metabolik esneklik; bağırsak mikrobiyotası; nöroplastisite; insülin direnci

ABSTRACT

Intermittent fasting (IF) is a dietary approach that includes repeated periods of fasting and eating. In recent years, it has become popular because of its possible effects on weight control, glucose metabolism and general metabolic health. It may also affect the gut microbiota and the central nervous system, but the evidence in these areas is still developing. This narrative review summarizes studies about the effects of intermittent fasting on metabolism, gut microbiota and brain functions. The reviewed literature includes human studies, animal experiments, systematic reviews and review articles published mainly in recent years. Current evidence shows that intermittent fasting may help with weight loss, insulin sensitivity and some metabolic markers. However, it is still difficult to separate the effects of fasting itself from the effects of lower calorie intake. Studies on gut microbiota suggest that intermittent fasting can change microbial diversity and composition, but the results are not always consistent between studies. Some experimental studies also show possible effects on autophagy, inflammation, ketone production and neuroplasticity. In terms of brain function, most of the stronger evidence comes from animal studies, while human studies are still limited. Overall, intermittent fasting may have useful effects on metabolic health and may also influence the gut-brain axis. However, current findings should be interpreted carefully because fasting protocols, study populations and follow-up periods are different between studies. More long-term and well-designed human studies are needed to better understand its possible clinical benefits.

Keywords: intermittent fasting; metabolic health; gut microbiota; brain function; insulin sensitivity; neuroplasticity

1. GİRİŞ

Aralıklı oruç , günün veya haftanın belirli dönemlerinde enerji alımının sınırlandığı, kalan dönemlerde ise beslenmenin sürdürüldüğü farklı protokolleri kapsayan genel bir terimdir. Zaman kısıtlı beslenme, gün aşırı oruç ve 5:2 modeli en sık incelenen yaklaşımlar arasındadır [1-4]. Kalori kısıtlamasından farklı olarak IF'nin temel özelliği yalnızca toplam enerji miktarını azaltmak değil, beslenme ve açlık dönemlerini zamansal olarak ayırmaktır [2,4].

Bu ayrım önemlidir; çünkü açlık döneminde insülin düzeylerinin azalması, lipolizin artması ve enerji kullanımının karbonhidratlardan yağ asitleri ile keton cisimlerine doğru kayması, klasik kalori kısıtlamasından kısmen farklı fizyolojik yanıtlar oluşturabilir [1,5]. Güncel literatür, bu metabolik geçişin karaciğer, yağ dokusu, iskelet kası, immün hücreler ve bağırsak mikrobiyotası arasında çok yönlü bir iletişim ağı oluşturduğunu düşündürmektedir [1].

IF konusunda dikkat edilmesi gereken temel noktalardan biri, deneysel ve klinik kanıtların aynı ağırlıkta olmamasıdır. Otofaji, beyaz yağ dokusunun kahverengileşmesi, nöroplastisite veya inflamatuvar sinyal yolları gibi birçok mekanizma özellikle hayvan modellerinde ayrıntılı biçimde gösterilmişken, insan çalışmalarında klinik sonlanımlar daha sınırlı ve heterojendir [5-

8]. Bu derlemenin amacı, aralıklı orucun metabolik etkilerini, bağırsak mikrobiyotası ve bağırsak bariyeri ile ilişkisini ve merkezi sinir sistemi üzerindeki olası sonuçlarını birlikte değerlendirmek; aynı zamanda mevcut kanıtların sınırlarını ortaya koymaktır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma anlatısal derleme olarak tasarlandı. Metabolizma, immünometabolizma, bağırsak mikrobiyotası, bağırsak-beyin ekseni ve merkezi sinir sistemi başlıklarını kapsayan, 2017-2026 yılları arasında yayımlanmış hakemli çalışmalar değerlendirildi. Kaynak setinde bir randomize klinik çalışma, iki özgün deneysel çalışma, bir insan çalışmalarına odaklanan sistematik derleme ve farklı mekanistik/klinik odaklara sahip anlatısal derlemeler yer aldı [1-10]. Aynı makalenin yinelenen kopyaları tek kaynak olarak değerlendirildi.

Çalışmalar sonuçların doğrudan karşılaştırılmasına izin verecek kadar homojen olmadığı için meta-analitik bir yaklaşım kullanılmadı. Bulgular, çalışma tasarımının kanıt gücü göz önünde bulundurularak insan verileri ve deneysel veriler mümkün olduğunca birbirinden ayrılarak yorumlandı. Bu yaklaşım, özellikle hayvan modellerinde gösterilen mekanizmaların doğrudan klinik etki olarak sunulmasını önlemek amacıyla benimsendi.

3. ARALIKLI ORUÇ MODELLERİ VE METABOLİK GEÇİŞ

Zaman kısıtlı beslenmede enerji alımı genellikle 6-12 saatlik bir pencereye sıkıştırılır ve günün geri kalanında kalori alınmaz. Gün aşırı oruçta açlık veya belirgin enerji kısıtlaması içeren günler normal beslenme günleriyle dönüşümlüdür. 5:2 modelinde ise haftanın iki gününde enerji alımı belirgin biçimde azaltılırken diğer beş günde olağan beslenme sürdürülür [2-4]. Bu protokoller aynı başlık altında incelense de metabolik etkilerinin birbirinin yerine kullanılabileceği varsayılmamalıdır.

Açlık süresi uzadıkça hepatik glikojen depoları azalır, dolaşımdaki insülin düzeyi düşer ve yağ dokusundan serbest yağ asidi mobilizasyonu artar. Karaciğerde yağ asidi oksidasyonu sonucunda β-hidroksibütirat (BHB) ve asetoasetat gibi keton cisimleri oluşur. Mattson ve arkadaşları bu tekrarlayan değişimi 'intermittent metabolic switching' olarak tanımlamış ve metabolik stres ile toparlanma dönemleri arasındaki geçişin hücresel adaptasyon için önemli olabileceğini ileri sürmüştür [5]. BHB yalnızca bir enerji substratı değildir; aynı zamanda gen ekspresyonu ve nörotrofik sinyaller üzerinde etkili olabilen bir sinyal molekülü olarak ele alınmaktadır [5].

Çizelge 1. Aralıklı oruçta sık kullanılan protokollerin genel özellikleri.

Protokol	Temel düzen	Sık kullanılan örnek	Başlıca metodolojik sorun
Zaman kısıtlı beslenme	Beslenme gün içinde sınırlı bir pencereye alınır	16:8 veya 14:10	Beslenme penceresinin saati ve toplam enerji alımı sonuçları etkileyebilir
Gün aşırı oruç	Oruç/kısıtlama günü ile serbest gün dönüşümlüdür	ADF	Uyum ve enerji telafisi değişken olabilir
5:2	Haftada iki gün belirgin enerji kısıtlaması	2 kısıtlı + 5 olağan gün	Kısıtlı günlerde alınan enerji miktarı çalışmalar arasında değişebilir

4. METABOLİK VE İMMÜNOMETABOLİK ETKİLER

4.1. Glukoz Metabolizması Ve Insülin Duyarlılığı

IF'nin en sık araştırılan klinik sonuçları vücut ağırlığı, açlık glukozu, insülin duyarlılığı ve lipid profilidir. İnsan çalışmalarında bu parametrelerin bir bölümünde iyileşme bildirilmiş olsa da sonuçlar protokol, başlangıç vücut ağırlığı, enerji açığı ve çalışma süresine göre değişmektedir [1-3]. Özellikle metabolik hastalık varlığında açlık-tokluk geçişlerine verilen yanıtın sağlıklı bireylerden farklı olabileceği vurgulanmaktadır [1].

Marko ve arkadaşları, IF sırasında karaciğer, yağ dokusu, iskelet kası ve immün hücreler arasında gelişen koordinasyonun metabolik esnekliğin temelini oluşturduğunu belirtmektedir [1]. İnsülin direncinde yağ asidi oksidasyon kapasitesinin ve yakıt seçiminin bozulması, açlığa verilen yanıtı da değiştirebilir. Bu nedenle IF'nin glukoz metabolizmasına etkisini yalnızca kilo kaybı üzerinden açıklamak yetersiz kalabilir; bazı insan çalışmalarında kilo kaybından bağımsız glisemik etkiler de bildirilmiştir [1,2].

4.2. Yağ Dokusu, Termogenez ve Enerji Dengesi

Hayvan modelleri IF'nin yağ dokusundaki etkileri için önemli mekanistik veriler sağlamıştır. Kim ve arkadaşlarının fare çalışmasında izokalorik aralıklı oruç, diyete bağlı obeziteye karşı metabolik homeostazı iyileştirmiş; bu etkinin beyaz yağ dokusunda VEGF artışı, M2 makrofaj aktivasyonu ve termogenez ile ilişkili olduğu gösterilmiştir [8]. Bu bulgu, açlık zamanlamasının toplam kalori miktarından bağımsız bazı metabolik yanıtlar oluşturabileceğine dair deneysel bir örnektir. Bununla birlikte, mekanizmanın insanlardaki klinik önemini göstermek için doğrudan insan çalışmalarına ihtiyaç vardır.

IF ile gözlenen kilo kaybının önemli bir bölümü enerji alımındaki azalmanın sonucu olabilir. Bu nedenle herhangi bir protokolün klasik sürekli enerji kısıtlamasından üstün olduğunu söylemek için yalnızca kilo değişimini değerlendirmek yeterli değildir. Çalışmaların toplam enerji alımı, protein alımı, fiziksel aktivite ve beslenme penceresinin sirkadiyen zamanlamasını da raporlaması gerekir [1-3].

4.3. İnflamasyon, Otofaji ve Hücresel Stres Yanıtı

Açlık sırasında AMPK aktivasyonu, mTOR aktivitesinde azalma ve otofajinin artması sık tartışılan mekanizmalardır [3,5]. Otofaji, hasarlı protein ve organellerin lizozomal yıkımı yoluyla hücresel kalite kontrolüne katkı sağlar. Ancak insanlarda otofajinin doku düzeyinde doğrudan ölçülmesi güç olduğundan, bu mekanizmaya ilişkin kanıtların önemli bir kısmı deneysel modellerden gelmektedir.

İmmünometabolik açıdan IF, metabolik inflamasyonu azaltabilecek hücre ve dokuya özgü değişikliklerle ilişkilendirilmiştir [1]. Buna karşın yanıtın zamana, dokuya ve hastalık durumuna göre farklılaşabileceği de aynı literatürde vurgulanmaktadır. Bu nedenle IF'yi genel olarak 'anti-inflamatuvar' bir müdahale şeklinde tanımlamak yerine, hangi popülasyonda ve hangi biyobelirteçler üzerinde etkili olduğunun ayrı ayrı değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir.

5. BAĞIRSAK MİKROBİYOTASI VE İNTESTİNAL BARİYER

Bağırsak mikrobiyotası, aralıklı orucun sistemik etkilerini açıklayabilecek olası aracılardan biridir. Paukkonen ve arkadaşlarının insan çalışmalarını içeren sistematik derlemesinde 1.332

kayıt taranmış, sekiz çalışma son değerlendirmeye alınmıştır. Çalışmaların çoğunda IF sonrasında mikrobiyota zenginliği, çeşitliliği veya kompozisyonunda değişiklik bildirilmiş; ancak hangi bakteriyel grupların arttığı veya azaldığı konusunda sonuçlar belirgin biçimde heterojen bulunmuştur [4]. Bu heterojenlik, IF'nin mikrobiyota üzerindeki etkisini tek bir 'yararlı bakteri artışı' şeklinde özetlemenin doğru olmadığını göstermektedir.

Bazı çalışmalarda Faecalibacterium ve Akkermansia muciniphila gibi tür veya cinslerde artış bildirilmiştir [4]. Faecalibacterium önemli bir bütirat üreticisidir ve bütiratın bağırsak bariyeri ile inflamatuvar yanıtlar üzerinde düzenleyici rolü bulunmaktadır. Bununla birlikte, sistematik derlemede çalışma sayısının azlığı, farklı IF protokollerinin birlikte değerlendirilmesi ve mikrobiyota analiz yöntemlerindeki farklılıklar nedeniyle bu bulguların genellenmesi için daha fazla insan çalışmasına ihtiyaç olduğu belirtilmiştir [4].

Bağırsak bariyeri açısından güncel mekanistik derlemeler, obezite ile ilişkili yüksek yağ ve şeker içeren diyetlerin zonula occludens-1, occludin ve claudin gibi sıkı bağlantı proteinlerini bozabileceğini; lipopolisakkarit geçişi ve oksidatif stres üzerinden düşük dereceli inflamasyonu artırabileceğini vurgulamaktadır [10]. IF'nin bu ekseni mikrobiyal metabolitler, mitokondriyal fonksiyon ve bağırsak geçirgenliği üzerinden modüle edebileceği öne sürülmektedir. Ancak bu alandaki kanıtların önemli kısmı henüz mekanistik veya preklinik düzeydedir.

6. MERKEZİ SİNİR SİSTEMİ VE BİLİŞSEL İŞLEVLER

6.1. Ketonlar, BDNF ve Nöroplastisite

Açlık sırasında oluşan keton cisimleri kan-beyin bariyerini geçerek nöronlarda enerji substratı olarak kullanılabilir. Mattson ve arkadaşlarının modeli, BHB'nin yalnızca alternatif yakıt sağlamadığını; aynı zamanda beyin türevli nörotrofik faktör (BDNF), sinaptik plastisite, mitokondriyal adaptasyon ve hücresel stres direnci ile ilişkili sinyal yollarını etkileyebileceğini öne sürmektedir [5]. Hayvan çalışmalarında aralıklı metabolik geçişin hipokampal plastisite, nörogenez ve bazı öğrenme-bellek görevleri üzerinde olumlu etkileri bildirilmiştir.

Bu mekanistik bulguların klinik verilerle karıştırılmaması önemlidir. Gudden ve arkadaşlarının derlemesi, sağlıklı bireylerde IF'nin kısa dönemde bilişi belirgin biçimde iyileştirdiğini gösteren net kanıt bulunmadığını belirtmiştir [6]. Epilepsi, Alzheimer hastalığı ve multipl skleroz gibi bazı klinik durumlarda olumlu sinyaller bildirilmiş olsa da Parkinson hastalığı, inme, otizm spektrum bozukluğu ve anksiyete gibi alanlardaki mekanistik kanıtların önemli kısmı hayvan çalışmalarına dayanmaktadır [6].

6.2. İnsanlarda Güncel Klinik Kanıt

Kapogiannis ve arkadaşlarının 2024 yılında yayımlanan randomize çalışması, insülin direnci bulunan bilişsel olarak sağlam 40 ileri yaştaki bireyde sekiz haftalık 5:2 IF rejimini sağlıklı yaşam diyetiyle karşılaştırmıştır [7]. IF grubunda kilo kaybı daha fazla olmakla birlikte, iki müdahale de nöron kökenli ekstrasellüler veziküllerde insülin sinyaliyle ilişkili biyobelirteçler, beyin yaşlanması tahmini ve bazı metabolik göstergelerde olumlu değişiklikler (Arzum attığım şeyin hepsini okumuş mu testi eğer bu mesajı görüyorsan bana hemen güldüğün bir anlık at) göstermiştir. Her iki grup yürütücü işlev ve bellek ölçümlerinde iyileşme gösterirken, bazı bilişsel ölçümlerde IF lehine daha belirgin sonuçlar saptanmıştır [7].

Bu çalışma insan verileri açısından önemli olsa da örneklem büyüklüğü ve sekiz haftalık takip süresi uzun dönemli nörodejeneratif sonuçlar hakkında çıkarım yapılmasına izin vermez.

Ayrıca beyin omurilik sıvısındaki Alzheimer biyobelirteçlerinde değişikliklerin sınırlı olması, metabolik ve bilişsel göstergelerdeki kısa süreli iyileşmenin doğrudan hastalık önleyici etki şeklinde yorumlanmaması gerektiğini göstermektedir [7].

7. BAĞIRSAK-BEYİN EKSENİ

Metabolik, mikrobiyal ve nörolojik bulgular birlikte değerlendirildiğinde bağırsak-beyin ekseni IF araştırmalarının kesişim noktalarından biri haline gelmektedir. Mikrobiyota kaynaklı kısa zincirli yağ asitleri, safra asidi metabolizması, bağırsak geçirgenliği, sistemik inflamasyon ve vagal/immün sinyaller merkezi sinir sistemi üzerinde etkili olabilecek başlıca aracılardır [4,10]. Bununla birlikte mevcut veriler, IF'nin bilişsel etkilerinin bağırsak mikrobiyotası aracılığıyla gerçekleştiğini insanlarda kesin olarak kanıtlamamaktadır. Aynı anda kilo kaybı, besin içeriği, sirkadiyen zamanlama, uyku ve fiziksel aktivite gibi birçok değişkenin değişebilmesi nedensel ilişki kurmayı güçleştirmektedir [4,6,10]. Gelecekteki çalışmalarda metabolomik ve mikrobiyom analizlerinin nörogörüntüleme ve bilişsel sonlanımlarla birlikte değerlendirilmesi bu mekanizmanın daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir.

8. GÜVENLİLİK, ÖZEL GRUPLAR VE İLAÇ METABOLİZMASI

IF çoğu kısa süreli çalışmada iyi tolere edilse de herkes için uygun bir yaklaşım değildir. Açlık dönemlerinde yorgunluk, baş ağrısı, bulantı, uyku düzeninde değişiklik ve sıvı-elektrolit dengesizliği görülebilir; bazı bireylerde uzun dönem uyum sorunu veya yeme bozukluğu davranışlarının tetiklenmesi de olasıdır [2,3]. Diyabet tedavisi alan hastalarda özellikle hipoglisemi riski nedeniyle ilaç dozları ve beslenme planı klinik gözetim gerektirir.

Gebelik, emzirme, büyüme çağındaki çocuk ve ergenler, düşük vücut ağırlığı veya yeme bozukluğu öyküsü bulunan bireyler ve frajil yaşlılarda IF'nin rutin önerilmesi için kanıt yetersizdir [3,6]. Bu gruplarda olası yararların yanı sıra enerji ve protein yetersizliği, kas kaybı ve hormonal etkiler dikkate alınmalıdır.

Farmakokinetik açıdan da açlık dönemleri önem taşıyabilir. Al-Kazimi ve arkadaşlarının diyabetik farelerde yaptığı çalışmada 10 gün süreyle günde 17 saatlik IF, bazı hepatik CYP450 genlerinin mRNA ekspresyonunu değiştirmiş ve diyabete bağlı histolojik karaciğer değişikliklerini azaltmıştır [9]. Bu sonuçlar doğrudan insan doz ayarlamasına çevrilemez; ancak IF uygulayan ve düzenli ilaç kullanan bireylerde ilaç metabolizmasının ayrıca araştırılması gerektiğini göstermektedir.

9. KLİNİK KANITLARIN GÜÇLÜ VE ZAYIF YÖNLERİ

Çizelge 2. Bu derlemede öne çıkan çalışmaların kanıt düzeyi açısından özeti.

Kaynak	Tasarım	Popülasyon/model	Temel bulgu	Yorum
Kapogiannis ve ark. 2024 [7]	Randomize klinik çalışma	40 ileri yaş, insülin direnci	5:2 IF ile daha fazla kilo kaybı; bazı bilişsel ve metabolik göstergelerde iyileşme	Küçük örneklem ve 8 haftalık takip
Paukkonen ve ark. 2024 [4]	Sistematik derleme	8 insan çalışması	Mikrobiyota zenginliği/kompozisyonunda değişiklikler	Belirgin heterojenlik; meta-analiz yapılamadı
Kim ve ark. 2017 [8]	Deneysel özgün çalışma	Fare modeli	VEGF-M2 makrofaj-WAT termogenez ekseni	Mekanistik olarak güçlü, klinik genellenebilirlik sınırlı
Al-Kazimi ve ark. 2023 [9]	Deneysel özgün çalışma	Diyabetik fare	CYP450 mRNA ekspresyonunda değişiklik	İnsan farmakokinetiğine doğrudan çevrilemez
Gudden ve ark. 2021 [6]	Derleme	Hayvan + insan verileri	Sağlıklı bireylerde kısa dönem bilişsel yarar net değil	Nörolojik iddialarda kanıt düzeyi ayrımı önemli

Mevcut literatürün güçlü yönü, IF'nin etkilerini metabolik, immünolojik, mikrobiyal ve nörolojik düzeylerde birlikte inceleyen geniş bir mekanistik çerçevenin oluşmuş olmasıdır. Buna karşılık klinik çalışmaların çoğu kısa sürelidir; protokol tanımları, enerji kısıtlaması düzeyi, çalışma popülasyonları ve sonlanım ölçütleri birbirinden farklıdır [1-7].

Özellikle hayvan çalışmalarındaki etkileyici moleküler bulguların insanlarda aynı büyüklükte klinik yarar sağlayacağı varsayılmamalıdır. Ayrıca kilo kaybı ile açlık zamanlamasının bağımsız etkilerini ayırmak, birçok çalışmada temel metodolojik sorun olmaya devam etmektedir. Mikrobiyota çalışmalarında örnekleme zamanı, kullanılan dizileme yöntemi, coğrafi ve diyet farklılıkları da karşılaştırılabilirliği azaltmaktadır [4].

10. GELECEK ARAŞTIRMALAR İÇİN ÖNERİLER

Gelecek çalışmaların öncelikle IF protokollerini daha standart biçimde tanımlaması gerekir. Beslenme penceresinin başlangıç ve bitiş saatleri, toplam enerji ve protein alımı, fiziksel aktivite, uyku, ilaç kullanımı ve kilo değişimi birlikte raporlanmalıdır. Böylece zamanlamanın bağımsız etkisi enerji kısıtlamasından daha iyi ayrıştırılabilir.

Nörolojik sonuçlar için kısa süreli bilişsel testlerin ötesinde uzun dönemli takip, nörogörüntüleme ve biyobelirteç ölçümleri gereklidir. Mikrobiyota çalışmalarında ise shotgun metagenomik, metabolomik ve kısa zincirli yağ asidi analizlerinin klinik sonlanımlarla eş zamanlı kullanılması, yalnızca taksonomik değişikliklerden daha anlamlı sonuçlar sağlayabilir. Ayrıca yaş, cinsiyet, başlangıç metabolik durum ve genetik farklılıkların IF yanıtını nasıl değiştirdiği ileri çalışmaların temel sorularından biri olmalıdır [4,7].

11. SONUÇ

Aralıklı oruç, açlık ve beslenme dönemleri arasında tekrarlayan metabolik geçişler oluşturarak glukoz-lipid metabolizması, immün yanıt, bağırsak mikrobiyotası ve merkezi sinir sistemi üzerinde etkiler oluşturabilen bir beslenme stratejisidir. İnsan çalışmalarında kilo kaybı ve bazı kardiyometabolik göstergeler açısından umut verici sonuçlar bulunmakla birlikte, bu yararların protokoller arasında aynı olmadığı ve her zaman toplam enerji kısıtlamasından bağımsız gösterilemediği unutulmamalıdır.

Bağırsak mikrobiyotası ve nöroplastisiteye ilişkin mekanistik veriler ilgi çekicidir, ancak özellikle nörolojik sonuçlarda klinik kanıtlar hayvan çalışmalarına kıyasla daha sınırlıdır. Bu nedenle IF'nin belirli hastalıkları önlediği veya tedavi ettiği yönünde genelleyici sonuçlardan kaçınılmalıdır. Uygun hasta seçimi, güvenlilik ve uzun dönem uyumun değerlendirildiği daha büyük randomize çalışmalar, IF'nin klinik uygulamadaki gerçek yerini belirlemek için gereklidir.

KAYNAKÇA

1. Marko DM, Conn MO, Schertzer JD. Intermittent fasting influences immunity and metabolism. Trends Endocrinol Metab. 2024;35(9):821-833. doi:10.1016/j.tem.2024.04.014.
2. Reddy BL, Reddy VS, Saier MH Jr. Review Article: Health Benefits of Intermittent Fasting. Microb Physiol. 2024;34(1):142-152. doi:10.1159/000540068.
3. Liu S, Zeng M, Wan W, Huang M, Li X, Xie Z, et al. The Health-Promoting Effects and the Mechanism of Intermittent Fasting. J Diabetes Res. 2023;2023:4038546. doi:10.1155/2023/4038546.
4. Paukkonen I, Törrönen EN, Lok J, Schwab U, El-Nezami H. The impact of intermittent fasting on gut microbiota: a systematic review of human studies. Front Nutr. 2024;11:1342787. doi:10.3389/fnut.2024.1342787.
5. Mattson MP, Moehl K, Ghena N, Schmaedick M, Cheng A. Intermittent metabolic switching, neuroplasticity and brain health. Nat Rev Neurosci. 2018;19(2):63-80. doi:10.1038/nrn.2017.156.
6. Gudden J, Arias Vasquez A, Bloemendaal M. The Effects of Intermittent Fasting on Brain and Cognitive Function. Nutrients. 2021;13(9):3166. doi:10.3390/nu13093166.
7. Kapogiannis D, Manolopoulos A, Mullins R, Avgerinos K, Delgado-Peraza F, Mustapic M, et al. Brain Responses to Intermittent Fasting and the Healthy Living Diet in Older Adults. Cell Metab. 2024;36(8):1668-1678.e5. doi:10.1016/j.cmet.2024.05.017.
8. Kim KH, Kim YH, Son JE, Lee JH, Kim S, Choe MS, et al. Intermittent fasting promotes adipose thermogenesis and metabolic homeostasis via VEGF-mediated alternative activation of macrophage. Cell Res. 2017;27(11):1309-1326. doi:10.1038/cr.2017.126.
9. Al-Kazimi N, Jarrar Y, Abdul-Wahab G, Alsayed AR, Madani A, Abulebdah D, et al. Effects of intermittent fasting on the histology and mRNA expression of major drug-metabolizing cyp450s in the liver of diabetic mice. Libyan J Med. 2023;18(1):2270188. doi:10.1080/19932820.2023.2270188.

10. Dibra D, Jala VR. Intermittent Fasting: A Path to Reducing Obesity-Driven Mitochondrial and Gut Barrier Dysfunction to Improve Gut-Brain Axis. Cell Mol Gastroenterol Hepatol. 2026;20:101809. doi:10.1016/j.jcmgh.2026.101809.