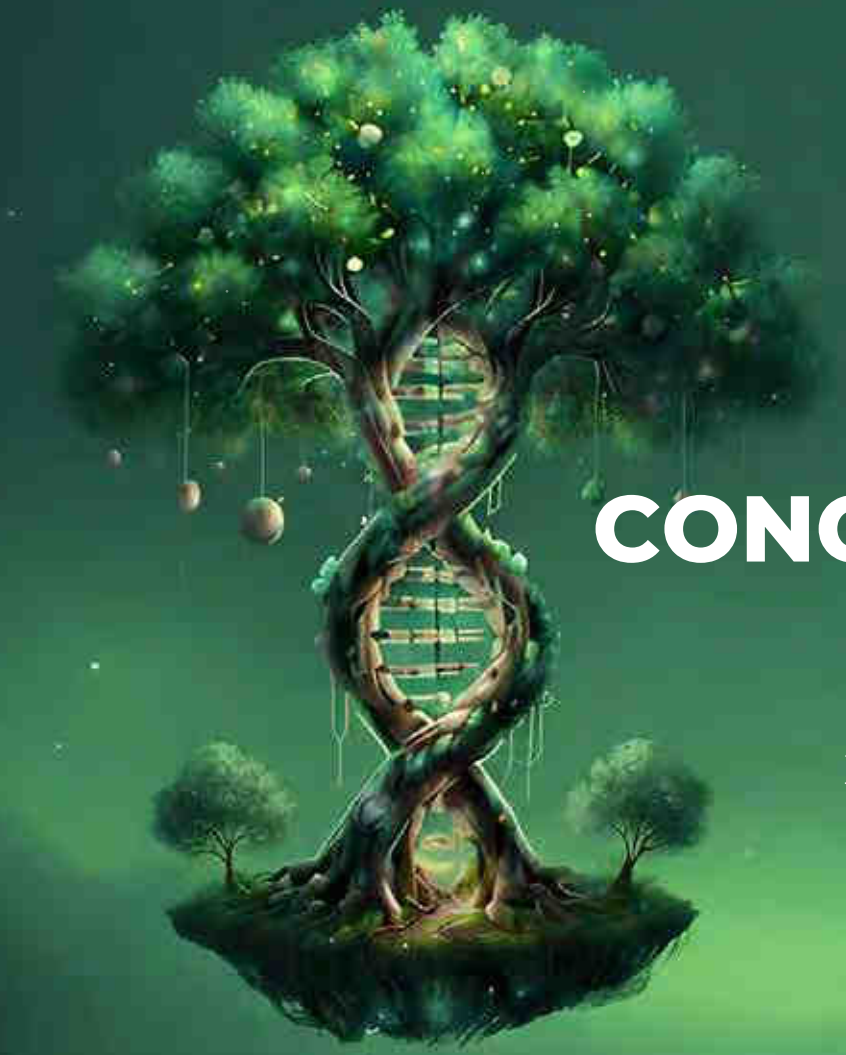
EKOLOJİ 2026

12. INTERNATIONAL ECOLOGY SYMPOSIUM



CONGRESS BOOK

EDITORS
Prof. Dr. Murat KÜTÜK
Doç.Dr.Adile AKPINAR
Doç. Dr. Mehmet YARAN

ISBN
978-625-8956-09-2

XII. INTERNATIONAL ECOLOGY SYMPOSIUM

May 13-16, 2026

Gaziantep, Türkiye

EDITORS:

Prof. Dr. Murat KÜTÜK

Doç.Dr. Adile AKPINAR Doç. Dr. Mehmet YARAN

COPYRIGHT © 2026

BY ASES CONGRESS ORGANIZATION

PUBLISHING COMPANY LIMITED

ALL RIGHTS RESERVED. NO PART OF THIS PUBLICATION MAY BE REPRODUCED, DISTRIBUTED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING OR OTHER ELECTRONIC OR MECHANICAL METHODS, WITHOUT THE PRIOR WRITTEN PERMISSION OF THE PUB LISHER, EXCEPT IN THE CASE OF BRIEF QUOTATI ONS EMBODIED IN CRITICAL REVIEWS AND CERTAIN OTHER NONCOMMERCIAL USES PERM ITTED BY COPYRIGHT LAW. ASES CONGRESS ORGANIZATION PUBLISHING® IT IS RESPONSIBILITY OF THE AUTHOR TO ABIDE BY THE PUBLISHING ETHICS RULES.

ASES PUBLICATIONS – 2026©

LICANCE KEY: 2022/ 63715

ISBN: 978-625-8956-09-2

CONGRESS ID

XII. INTERNATIONAL ECOLOGY SYMPOSIUM

DATE AND PLACE

May 13-16, 2026

Gaziantep, Türkiye

ORGANIZATION

ASES (ACADEMY OF SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL STUDIES),

LANGUAGES

Turkish, English, Arabic, Russian

T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
FEN-EDEBİYAT FAKÜLTESİ

Sayı : E-99380014-100-831713

Tarih : 24/04/2026

Konu : Düzenleme Kurulu Akademisyen Temsilciliği

ASES (ACADEMY OF SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL STUDIES)

Üniversitemiz ve ASES (academy of scientific and educational studies) iş birliğinde 13 - 16 Mayıs 2026 Tarihlerinde düzenlenecek olan "12. Uluslararası Ekoloji Sempozyumu" düzenleme Kuruluna 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 12. Uluslararası Ekoloji Sempozyumu Düzenleme Kuruluna akademisyen temsilcisi olarak, Üniversitemiz Biyoloji Bölümü Öğretim Üyesi Fen Edebiyat Fakültesi Dekan Yardımcısı Doç. Dr. Mehmet YARAN görevlendirilmiştir.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Murat KÜTÜK

Dekan

Tel: (0342) 360 11 20 Faks: (0342) 360 10 32

EKOLOJİ KURULU

Prof. Dr. Sedat V. YERLİ
EKOLOJİ 2010
Aksaray Üniversitesi (FEF)

Prof. Dr. Süleyman AKBULUT
EKOLOJİ 2011
Düzce Üniversitesi (OF)

Prof. Dr. Nazım ŞEKEROĞLU
EKOLOJİ 2012
Kilis 7 Aralık Üniversitesi (FEF)

Prof. Dr. Ahmet İSTANBULLUOĞLU
EKOLOJİ 2013
Namık Kemal Üniversitesi (ZF)

Prof. Dr. İlkay Erdoğan DOĞAN
EKOLOJİ 2014
Doğu Akdeniz Üniversitesi (EF)

Prof. Dr. İsmet BERBER
EKOLOJİ 2015
Sinop Üniversitesi (FEF-SUF)

Prof. Dr. Mehmet Ali KIRPIK
EKOLOJİ 2016
Kafkas Üniversitesi (FEF)

Prof. Dr. Fatih DUMAN
EKOLOJİ 2017
Erciyes Üniversitesi (FF)

Prof. Dr. Savaş CANBULAT
EKOLOJİ 2018
Kastamonu Üniversitesi (MMF)

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
EKOLOJİ 2020
Bursa Teknik Üniversitesi (BTÜ) (OF)

Prof. Dr. Muhitdin YILMAZ
EKOLOJİ 2024
Sinop Üniversitesi (SU-FEF)

BİLİM KURULU

Prof. Dr. Ahmet AKSOY
Akdeniz Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet ALTINDAĞ
Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Atilla DURMUŞ
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Prof. Dr. Aycan TOSUNOĞLU
Bursa Uludağ Üniversitesi

Prof. Dr. Çağan Hakkı ŞEKERCİOĞLU
Utah University

Prof. Dr. Eren ÖZCEYLAN
Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Ferhat CELEP
Kırıkkale Üniversitesi

Prof. Dr. Feza CAN
Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi

Prof. Dr. Halil ÇAKAN
Çukurova Üniversitesi

Prof. Dr. Handan ALTINOK
Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan AKGÜL
Akdeniz Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan KOÇ
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi

Prof. Dr. Hatice ÖĞÜTÇÜ
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim ORTAŞ
Çukurova Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail VAROL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Prof. Dr. Kuddusi ERTUĞRUL
Selçuk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Ali TABUR
Süleyman Demirel Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet CANDAN
Eskişehir Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Emin SÖNMEZ
Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa SEVİNDİK
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa ŞAHMARAN
Hacettepe Üniversitesi

Prof. Dr. Muzaffer DÜGEL
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Prof. Dr. Olena MİTRYASOVA
Petro Mohyla Black Sea National University, Ukraine

Prof. Dr. Osman SEYYAR
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Prof. Dr. Piotr P. WIECZOREK
University of Opole, Poland

Prof. Dr. Serap MUTUN
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Prof. Dr. Sevgi SEVSAY
Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi

Prof. Dr. Sevilay DERVİŞOĞLU
Hacettepe Üniversitesi

Prof. Dr. Turan ARABACI
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Ümit İNCEKARA
Atatürk Üniversitesi

Doç. Dr. Emel DIRAZ YILDIRIM
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Doç. Dr. Gülşen KUM
Gaziantep Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan BOZDOĞAN
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan ÇETİNKAYA
Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Doç. Dr. Lenka DEMKOVA
University of Prešov, Slovakia

Dr. Öğr. Üyesi Bülent LAZ
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Demet YILMAZKAYA GÖĞÜŞ
Gaziantept İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hasret GÜNEŞ
Adıyaman Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Pınar KOCABEY ÇİFTÇİ
Gaziantep Üniversitesi

Dr. Banu GÖKÇEK
Gaziantep Büyükşehir Belediyesi

Dr. Durmuş OK
Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

Dr. Ekrem ASLAN
Gaziantep Büyükşehir Belediyesi

Dr. Miriam MARZEN
Trier University

Dr. Muradov Panah ZÜLFİGAR
Baku State University, Azerbaijan

Dr. Thomas ISERLOHN
Trier University

SEMPOZYUM BAŞKANI

Prof. Dr. Murat KÜTÜK
Biyoloji Bölüm Başkanı

ONURSAL BAŞKAN

Prof. Dr. Sait Mesut DOĞAN
Gaziantep Üniversitesi Rektörü

Prof. Dr. Abuzer ÇELEKLİ
Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Canan CAN
Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Elman İSKENDER
Azerbaycan Milli İlimler Akademisi, Bakü, Azerbaycan

Prof. Dr. Erdihan TUNÇ
Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Filiz ÖZBAŞ GERÇEKER
Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Ivan SALAMON
Presov Üniversitesi, Presov, Slovak Cumhuriyeti

Prof. Dr. Nazım ŞEKEROĞLU
Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Remziye Aysun KEPEKÇİ
Gaziantep Üniversitesi

Doç. Dr. Adile AKPINAR
Gaziantep Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet YARAN
Gaziantep Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa PEHLİVAN
Gaziantep Üniversitesi

Doç. Dr. Yawooz Hamee MAHMOOD
Samara Üniversitesi, Irak

Dr. Öğr. Üyesi Aydın ATAKAN
Gaziantep Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Berna BAŞ
Gaziantep Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Derya İŞLER CEYHAN
Gaziantep Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Feyza Nur KAFADAR
Gaziantep Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Tuba PEHLİVAN
Gaziantep Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Türkan GÜRER
Gaziantep Üniversitesi

Dr. Mürşit Ömür KOYUNCU
Gaziantep Üniversitesi

Dr. Vedat GÖRMEZ
Gaziantep Üniversitesi

Öğr. Gör. Sevgi ARSLAN
Gaziantep Üniversitesi

Arş. Gör. Ceren Tutku DOĞAN
Gaziantep Üniversitesi

Arş. Gör. Esra ATACAN DOĞAN
Gaziantep Üniversitesi

Arş. Gör. Fatih YAYLA
Gaziantep Üniversitesi

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ

12. ULUSLARARASI EKOLOJİ SEMPOZYUMU

"Biyoçeşitlilik ve Sürdürülebilir Çevre"

13–16 Mayıs 2026 | Mavera Kongre ve Sanat Merkezi, Gaziantep Üniversitesi

KONGRE PROGRAMI TASLAK

RENK REHBERİ: SALON 1 | SALON 2 | TÜM KATILIMCILAR (Öğle / Davetli / Yemek / Ara)

BAŞLANGIÇ	BİTİŞ	ETKİNLİK / OTURUM	SUNU	SALON 1 Konuşmacı	SALON 1 Başlık / Konu	SALON 2 Konuşmacı	SALON 2 Başlık / Konu
GÜN 1 — 13 MAYIS 2026 ÇARŞAMBA							
08:00	10:00	KONGRE KAYIT					
10:00	12:00	MÜZİK DİNLETİSİ & AÇILIŞ PROGRAMI					
12:00	13:30	ÖĞLE YEMEĞİ					
13:30	14:30	**DAVETLİ KONUŞMACI Prof. Dr. Savaş CANBULAT : Sıfır Atık: Hayat Tarzı, Bir Hayal Değil**					
15:00	**16:00**	**◆ SÖZLÜ SUNUM OTURUM**		**SALON 1 — Oturum Başkanı: PROF. DR. NAZIM ŞEKEROĞLU**		**SALON 2 — Oturum Başkanı: Savaş CANBULAT**	
15:00	15:15		1. SUNU	Doç.Dr.EVRİM SÖNMEZ	DEPOLANMIŞ ÜRÜN ZARARLISI BÖCEKLERE KARŞI LAVANTA UÇUCU YAĞLARININ KULLANIM POTANSİYELİ	Prof. Dr. Ahmet AKSOY, Dr. Uğurcan BARAN	SERPANTİN ENDEMİĞİ Noccaea birolmutlui: NİKEL HİPERAKÜMÜLATÖRLERİ ARASINA YENİ BİR KATKI
15:15	15:30		2. SUNU	Doç. Dr. DİLEK ŞAHİN, Doç.Dr. MERYEM ÖZ, Doç.Dr. ÜNAL ÖZ	AN ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF NATURAL ADSORBENTS ON WATER PARAMETERS IN AQUACULTURE	MERYEM KARAÇAM, Dr.Öğrt. Ü.Göksal SEZEN, Çiğdem KÜÇÜK,Fatih Duman	Cladophora sp. ve Microcystis sp. alglerinin biyolojik gübre olarak, Oğul otu (Melissa officinalis L.) bitkisinin gelişimi ve büyümesi üzerine etkisi
15:30	15:45		3. SUNU	Doç.Dr. EVRİM SÖNMEZ	LAVANDULA ANGUSTIFOLIA İLE ANA METABOLİTİ LİNALOOL'ÜN TENEBRIO MOLITOR (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)'DA MORTALİTE VE LARVAL DÖNEM GELİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	Tuğçe VAROL,Doç. Dr. Samed ŞİMŞEK,Dr.Öğr.Üyesi.Müjgan ELVEREN,Prof.Etem OSMA	HABİTAT VE ORGAN FARKLILIKLARININ HEDYSARUM CANDİDİSSİMUM'UN ANTİOKSİDAN POTANSİYELİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ
15:45	16:00		4. SUNU	Derya ARSLAN TALAPOV, Doç.Dr.Adile AKPINAR	GNAPHOSİDAE (ARANEAE) FAUNASI ÜZERİNE EKOLOJİK BİR DEĞERLENDİRME: HABİTAT TERCİHLERİ	Arş. Gör. Harun İnci, Tuğçe Yetim, İrem Şarlak, Özgün Deniz Yürekli, Doğan Çetin, Nilgün Kaya, Doç. Dr.Oya Özuluğ	Assessment of Treated Wastewater Impact on Ostracoda (Crustacea) Assemblages in a Stream Ecosystem
16:00	16:15	ARA					
16:15	**17:15**	**◆ SÖZLÜ SUNUM OTURUM**		**SALON 1 — Oturum Başkanı: Doç.Dr.EVRİM SÖNMEZ**		**SALON 2 — Oturum Başkanı: Doç. Dr. DİLEK ŞAHİN**	
16:15	16:30		1. SUNU	Arş.Gör. Buket DENİZ	HUKUKİ BOYUTUYLA SULAK ALANLARIN KORUNMASI	Prof. Dr. Emine ALÇITEPE, Dr. Öğrt. Ü. M.A.Galip ALÇITEPE	HANDEL-MAZZETTİ: BOTANİK BİLİMİNE ADANMIŞ BİR ÖMÜR VE MEZOPOTAMYA FLORASI ÜZERİNE ÇALIŞMALARI
16:30	16:45		2. SUNU	Prof.Dr. Cafer EKEN,Prof.Dr. Dudu DEMİR, Doç.Dr.Tuba GENÇ KESİMCİ, Doç.Dr Mesude Figen DÖNMEZ YEŞİLDAĞ, Doç.Dr Emre SEVİNDİK, Yusuf DÜŞGÜN, Metin SAFTAN	DETERMINATION OF ENDOPHYTIC FUNGAL DIVERSITY IN DIFFERENT ORGANS OF APPLE (MALUS DOMESTICA) CULTIVATED IN EĞİRDİR (ISPARTA)	Talap TALAPOV, Melike AĞDAĞ, Büşra ORBAY, Olcay DEDECAN, Prof.Dr.Canan CAN	Yabani ve Kültüre Alınmış Tarım Ekosistemlerinde Bitki-Patojen Ortak Evrimine Ekolojik Bakış Açıları
16:45	17:00		3. SUNU	Prof.Dr.Dudu DEMİR, Selda KABAK,Prof.Dr Cafer EKEN, Gülsüm UYSAL, Selda ÇALIŞKAN, Doç.Dr Emre SEVİNDİK	DETERMINATION OF PROTEASE ENZYME ACTIVITIES OF NEMATODE-TRAPPING FUNGI IMPORTANT FOR BIOLOGICAL CONTROL IN SUSTAINABLE AGRICULTURE	Olcay DEDECAN, Büşra ORBAY, Melike AĞDAĞ, Talap TALAPOV, Prof. Dr. Murat DİKİLİTAŞ, Prof. Dr. Canan CAN	Abiyotik Stres Faktörlerinin Bitki Patojeni Fungusların Epidemiyolojisine Etkileri
17:00	17:15		4. SUNU	Özgür Eren ZARİÇ, Prof. Dr. Abuzer ÇELEKLİ	COUPLED HYDROGEOCHEMICAL AND MICROBIAL PROCESSES DRIVING POST-EARTHQUAKE GROUNDWATER TRANSFORMATIONS AND DRINKING WATER RISKS	Sezgin ARDA, Yemliha ÇİRKİN, Dr. Öğr. Üyesi Hasret GÜNEŞ, Arş. Gör. Ceren Tutku Doğan	Triple Interaction in the Rhizosphere: Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF), Nigella sativa L. Residues, and Trichoderma harzianum Applications on the Growth of Curly Lettuce (Lactuca sativa L. var. crispa)
17:15	17:30		5. sunu				
19:00	22:00	**AÇILIŞ YEMEĞİ (ÜCRETSİZ) — Seyirtepe Tesisleri**					
GÜN 2 — 14 MAYIS 2026 PERŞEMBE							
09:30	**10:30**	**◆ SÖZLÜ SUNUM OTUR**		**SALON 1 — Oturum Başkanı: Prof. Dr. Erdihan TUNÇ**		**SALON 2 — Oturum Başkanı: Prof. Dr. R. Aysun KEPEKÇİ**	
09:30	09:45		1. SUNU	Öğrt. Gör.Çağrı BALCI , Kader KUŞ , Prof.Dr.Sevgi SEVSAY	ERZİNCAN İLİNDEN TOPLANAN ERYTHRAEUS (ACARI: ERYTHRAEIDAE) TÜRLERİNİN HABİTAT TERCİHLERİ VE EKOLOJİK DEĞERLENDİRMESİ	Dr.Öğrt.Ü.Aysun GARGACI KINAY	YEREL GIDA MİRASI VE EKOLOJİK SORUMLULUK
09:45	10:00		2. SUNU	Öğrt. Gör.Çağrı BALCI , Kader KUŞ , Prof.Dr.Sevgi SEVSAY	TÜRKİYE'DEN CURTERIA EPISCOPALIS (C. L. KOCH, 1837) (ACARI: ERYTHRAEIDAE) TÜRÜNÜN İLK KAYDI	Dr. Öğr. Üyesi. Fadime KARABULUT	THE INVESTIGATION OF BIOCHEMICAL RESPONSES AND LIPID METABOLISM IN SOYBEANS UNDER VARYING CONCENTRATIONS OF NAA AND SA PLANT GROWTH HORMONES
10:00	10:15		3. SUNU	Murat TAK, Prof.Dr. Ahmet Zafer TEL, Musa GÜRBÜZ	Çat Barajı (Çelikhan) Yüzen Adalarının Son 25 Yıllık Değişimi ve Vejetasyon Florası	Dr. Öğr. Üyesi. Fadime KARABULUT	CLIMATE-DRIVEN PHYSIOLOGICAL ADAPTATIONS IN PLANTS: MOLECULAR AND FUNCTIONAL PERSPECTIVES
10:15	10:30		4. SUNU	Zafer YILDIZ, Doç. Dr. Nuri Kaan ÖZKAZANÇ	KÜTAHYA TÜRKMENBABA YABAN HAYATI GELİŞTİRME SAHASINDA KIZIL GEYİKLERİN HABİTAT KULLANIM TERCİHLERİNİN BELİRLENMESİ	Öğr. Gör. Zeynep ASUTAY	BAL ARISI YETİŞTİRİCİLİĞİNDE EKOLOJİK AYAK İZİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLİŞKİSİ
10:30	11:00	ARA					
11:00	**12:00**	**◆ SÖZLÜ SUNUM OTUR**		**SALON 1 — Oturum Başkanı:Prof. Dr. Filiz Özbaş Gerçeker**		**SALON 2 — Oturum Başkanı: Prof. Dr. Savaş CANBULAT**	
11:00	11:15		1. SUNU	Dr. Öğrt. Ü. Demet YILMAZKAYA GOGUS, Prof.Dr.Aycan TOSUNOGLU	MONITORING and ASSAEEMENT of AIRBORNE Cladosporium Link and Alternaria Nées SPORES İN DİKİLİ (İZMİR) TURKIYE	Doç.Dr.Hümeyra NERGİZ UYAR, Prof.Dr.Atilla DURMUŞ	NEMRUT KALDERASI (BİTLİS) RAMSAR ALANININ KUŞ GÖZLEMCİLİĞİ VE EKOTURİZM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
11:15	11:30		2. SUNU	Mustafa AÇIKGÖZ, Prof.Dr.Mahmut Murat ASLAN	KAHRAMANMARAŞ, GAZİANTEP VE ADIYAMAN İLLERİNDEKİ ANTEP FISTIĞI BAHÇELERİNDE ZARARLI Agonoscena pistaciae BURKHARDT & LAUTERER, 1989 (HEMIPTERA: APHALARIDAE)'NIN DOĞAL DÜŞMAN FAUNASI: BİYOÇEŞİTLİLİK VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	Songül Şeyda Yıldırım, Doç. Dr. Serap Toprak Döşlü	KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN İNSAN SAĞLIĞI VE BESLENME ÜZERİNE ETKİSİ
11:30	11:45		3. SUNU	Dr. Mustafa Demir, Prof. Dr. Erdihan Tunç, Prof. Dr. Sören Thiele-Bruhn	Karışık Antep fıstığı (Pistacia vera L.) ve zeytin (Olea europaea L.) bahçe topraklarında potansiyel toksik elementlerin insan sağlığına yönelik karsinojenik ve non-karsinojenik risklerinin değerlendirilmesi	Prof.Dr.Atilla DURMUŞ, Doç.Dr.Hümeyra NERGİZ UYAR	KARAYOLUNUN KUŞ TÜRLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN AHLAT SAZLIĞI (BİTLİS) ÖRNEĞİNDE İRDELENMESİ
11:45	12:00		5. SUNU	Prof. Dr. Emine ALÇITEPE, Dr. Öğrt. Ü. M.A.Galip ALÇITEPE	GEORGE EDWARD POST VE POST HERBARYUMU (BEI)'NDAKİ GAZİANTEP, ANTAKYA, MARAŞ VE VAN BİTKİ KOLEKSİYONLARI ÜZERİNE BİR İNCELEME	Doç.Dr. MehmetAYTEKİN, H.Esin ÖZDEMİR	Biyoçeşitlilik Kaybının Ekonomik Maliyeti
12:15	12:30						
12:00	13:30	ÖĞLE YEMEĞİ					
13:30	14:30	**DAVETLİ KONUŞMACI Prof. Dr. Mustafa SÖZEN:Kutup Ekolojisi ve Türkiye'nin Kutup Ekosisteminde Deniz Memelisi Gözlem Çalışmaları**					
15:00	**16:00**	**◆ SÖZLÜ SUNUM OTUR**		**SALON 1 — Oturum Başkanı: Prof.Dr.Atilla DURMUS**		**SALON 2 — Oturum Başkanı:Doç. Dr. Türkan GÜRER**	
15:00	15:15		1. SUNU	Ayşenur ÇOLAK , Prof.Dr. Semra ÇORUH	BAKIR ÜRETİM SÜREÇLERİNDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİSİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ	Öğr. Gör. Dr. Vedat Görmez, İbrahim Halil Akar, Zeynep Boyroz	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS ALANI AMPHIBIA (ÇİFT YAŞARLAR) ÇEŞİTLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ
15:15	15:30		2. SUNU	Doç. Dr. Orhan Ecemiş, Öğr. Gör. Rüstem Kocaöz	G7 ÜLKELERİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ PİYASASI İSTİKRAR PERFORMANSININ SECA YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ	Esra Taşçı, Arş. Gör. Esra Atacan Doğan, Öğr. Gör. Dr. Vedat Görmez, Prof. Dr. Murat Kütük	TERELLIA VIRENS GRUP İÇERİSİNDE 16S rDNA BÖLGESİNİN TÜR DÜZEYİ FİLOGENETİK AYRIMA KATKISININ DEĞERLENDİRİLMESİ
15:30	15:45		3. SUNU	Dr.Öğrt.Ü.Aydın ATAKAN	RNA INTERFERENCE BASED CONTROL OF FUNGAL PLANT PATHOGENS: AN ENVİRONMENTALLY SUSTAİNABLE APPROACH	Prof.Dr.Murat KÜTÜK,Ayça DEMİRCİ	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDE KUŞ FANASININ BELİRLENMESİ
15:45	16:00		4. SUNU	Dr.Öğr.Üyesi.Derya İŞLER CEYHAN, İbrahim Ethem BULUT	BİTKİ-PATOJEN ETKİLEŞİMLERİNDE ÇEVRESEL TETİKLEYİCİLERİN BİTKİ SAVUNMASI ÜZERİNDEKİ ROLÜROLLERİ	Dr.Ekrem ASLAN	ORMAN ALT BÖLGELERİNDE TOPRAK VE VEJETASYON ÖZELLİKLERİNİN NEMATOD BİYOÇEŞİTLİLİĞİ ÜZERİNE ETKİLERİ
16:00	16:15	ARA					
16:15	**17:15**	**◆ SÖZLÜ SUNUM OTUR**		**SALON 1 — Oturum Başkanı: Prof. Dr. Canan CAN**		**SALON 2 — Oturum Başkanı:Dr.Öğrt.Ü Aydın ATAKAN**	
16:15	16:30		1. SUNU	Öğr. Gör. Mürşit Ömür Koyuncu, Damla İnal, Gül Ayhan	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPÜS İÇERİSİNDEKİ GÜNDÜZ KELEBEKLERİNİN BELİRLENMESİ	Asiye SEÇKİN, Doç.Dr.Adile AKPINAR, Doç. Dr. Mehmet YARAN,Fatma YILMAZ	İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİNİN ÖRÜMCEKLER ÜZERİNE OLASI ETKİLERİ
16:30	16:45		2. SUNU	Öğr.Gör.Vedat GÖRMEZ, Zeynep BOYRAZ, İbrahim Halil AKAR	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPÜSÜNDE REPTİLİA (SÜRÜNGEN) FAUNASININ BELİRLENMESİ	Mehmet Tolga KAPLAN, Doç.Dr.Adile AKPINAR, Doç. Dr. Mehmet YARAN	AKREPLERİN HABİTAT TERCİHLERİ
16:45	17:00		3. SUNU	Selçuk ARSLAN, Deyana ABBAS	PSÖDO-TAHILLAR VE ENZİM KULLANIMININ GLUTEN AZALTILMIŞ GOFRET ÜRETİMİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ	Abdulsamet KÖSEOĞLU, Doç.Dr.Adile AKPINAR, Doç. Dr. Mehmet YARAN	AĞ ÖRÜMCEKLERİNİN EKOLOJİK TERCİHLERİ
17:00	17:15		4.SUNU	Sudenaz AYAZ, Doç.Dr. Serap TOPRAK DÖŞLÜ	Algler ve Deniz Yosunlarının Sürdürülebilir Beslenmedeki Rolü: Alternatif Protein Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi	Fatma ÖZMEN,Doç. Dr. Mehmet YARAN, Prof. Dr. Murat KÜTÜK	Lucanus cervus (LINNAEUS, 1758) (Geyik Böceği) ALT TÜRLERİNİN TÜRKİYE'DEKİ YAYILIŞLARI VE EKOLOJİK ÖNEMİ
17:15	17:30		5. SUNU	Muhammed Fatih Yıldız, Samir Hasanov, Asiye Nur Yıldırım, Mehmet Mutlu Taş, Abdulsamet Yoldaş, Dr.Öğrt.Ü.Mehmet Çağatay Akbolat, Ferhat Yetiş	A STUDY ON THE CHARPY IMPACT PERFORMANCE OF GLASS FİBER/VİNYL ESTER COMPOSİTES ENHANCED WİTH CHOPPED JUTE FİBERS		

GÜN 3 — 15 MAYIS 2026 CUMA							
09:30	10:30	◆ SÖZLÜ SUNUM OTUR		SALON 1 —Oturum Başkanı: Prof. Dr. Mehmet Ali KIRPIK		SALON 2 —Oturum Başkanı: Prof. Dr. Selma TABUR	
09:30	09:45		1. SUNU	Prof. Dr. Selma TABUR, Öğrt.Gör.Serkan ÖZMEN	TRİAKONTANOLÜN FARKLI ARPA GENOTİPLERİNDE KURAKLIK STRESİNE KARŞI ROLÜ: FİZYOLOJİK VE ENZİMATİK YANITLAR	Ebru BOZLAR, Araş.Gör.Fatih YAYLA , Dr.Banu GÖKÇEK , Şeyda YILMAZ	GAZİANTEP İLİNİN DOĞA TURİZMİ VE BİYOÇEŞİTLİLİK TEMELLİ EKOTURİZM POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: MEVCUT DURUM VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ
09:45	10:00		2. SUNU	Araş. Gör.Yiğit ANTEPLİOĞLU, Prof.Dr. Mehmet Ali TABUR	ISPARTA MERKEZİNDE TEPELİ TOYGAR (*Galerida cristata*)'IN BİYOLOJİSİ	Dr.Banu Gökçe, Araş. Gör.Fatih Yayla, Ebru Bozlar	GAZİANTEP BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ KENT ORMAN VARLIĞININ EKOSİSTEM HİZMETLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ
10:00	10:15		3. SUNU	Öğrt. Gör.Serkan ÖZMEN, Prof.Dr. Selma TABUR	ÇEŞİDE ÖZGÜ KİNETİN DUYARLILIĞI: KURAKLIK STRESİ ALTINDA BÜLBÜL-89 VE BURAKBEY ARPA ÇEŞİTLERİNDE MORFOFİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL YANITLAR	Dr. Banu GÖKÇEK, Arş.Gör.Fatih YAYLA, Ebru BOZLAR	GAZİANTEP BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİNE BAĞLI REKREASYON ALANLARININ MEKÂNSAL DAĞILIMI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ
10:15	10:30		4. SUNU	Cafer MURAT, Prof.Dr.Mehmet Ali TABUR	ISPARTA MERKEZİNDE KAYA GÜVERCİNİN (*COLUMBA LIVIA* GMELİN, 1789)BİYOLOJİSİ	Araş.Gör.Fatih Yayla, Ebru Bozlar, Şeyda Yılmaz, Elif Kızıldeli, Rabia Ceylan, Nisa Buket Kaya, Ceyda İyimutaf	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS FLORASI
10:30	11:00	ARA					
11:00	12:00	◆ SÖZLÜ SUNUM OTUR		SALON 1 —Oturum Başkanı:Prof.Dr. Mehmet Ali TABUR		SALON 2 —Oturum Başkanı:Prof. Dr. Selma TABUR	
11:00	11:15		1. SUNU	Öğrt.Gör.Dr. Durmuş OK, Prof.Dr. Osman SEYYAR, Doç.DrMehmet YARAN	ERCİYES DAĞI'NDA (KAYSERİ, TÜRKİYE) YAYILIŞ GÖSTEREN YER ÖRÜMCEKLERİNİN (GNAPHOSIDAE) SHANNON-WIENER ÇEŞİTLİLİK İNDEKSİ AÇISINDAN VERTİKAL DEĞERLENDİRİLMESİ	Ruhi ÖZDEMİR, Dr.Öğrt.Ü.Necla KORALAY	APPLICATIONS OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND REMOTE SENSING IN WATERSHED MANAGEMENT
11:15	11:30		2. SUNU	Omar KHESHKAR, Furkan PALA, Doç.Dr. Dr.Nurettin Furkan DOĞAN	SUSTAINABLE ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL SYNTHETIC FIBER REINFORCED COMPOSITES: MECHANICAL PERFORMANCE OF JUTE/BASALT HYBRID COMPOSITES	Arş. Gör. Esra ATACAN DOĞAN, Prof.Dr.Murat KÜTÜK	TERELLIA RHAPONTCHI BİREYLERİNDE FARKLI GEN BÖLGELERİNİN TÜR İÇİ FİLOGENETİK ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ (DIPTERA: TEPHRITIDAE)
11:30	11:45		3. SUNU	Dr.Sena YAVRUOĞLU, Öğr.Gör. Aysen SÜNBÜL	IŞIK VE REKABET KOŞULLARINA BAĞLI OLARAK KIZILÇAM (PİNUS BRUTİA TEN.) MEŞCERELERİNDE TEPE GELİŞİMİNİN (LCR) DEĞERLENDİRİLMESİ	Doç. Dr. Emel Diraz Yildinm, Dr. Emre Yazar, Doç. Dr. Ferit Kocaçinar, Prof. Dr. Şengül Karaman	SPERMİN VE MELATONİN UYGULAMALARININ TUZ STRESİ KOŞULLARINDA YETİŞEN Ocimum basilicum L.'UN FOTOSENTETİK PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİSİ
11:45	12:00		4. SUNU	Dr.Sena YAVRUOĞLU, Öğr.Gör.Aysen SÜNBÜL	BAKIYA BAĞLI MİKROKLİMATİK FARKLILIKLARIN KIZILÇAM (Pinus brutia Ten.) MEŞCERELERİNDE YAPISAL STABİLİTE ÜZERİNE ETKİSİ		
12:00	13:30	ÖĞLE YEMEĞİ					
13:30	14:30	DAVETLİ KONUŞMACI Prof. Dr. Ali DÖNMEZ:Yeşil Yol'dan Geleceğe Ekolojik İzler					
14:45	15:45	◆ SÖZLÜ SUNUM OTUR		SALON 1 —Oturum Başkanı: Prof. Dr. Canan CAN		SALON 2 —Oturum Başkanı: Prof.Dr. Filiz Özbaş GERÇEKER	
14:45	15:00		1. SUNU	Prof.Dr. Mehmet Ali KIRPIK, Semra KINALI	İKLİM BOZULMASININ POPÜLASYON BÜYÜKLÜĞÜNE ETKİSİ	Doç.Dr.Fahrettin ATAR, Gözde KIYAGAN	VARIATION IN SEED MORPHOLOGICAL TRAITS AMONG TAURUS FIR (Abies cilicica) POPULATIONS
15:00	15:15		2. SUNU	Prof.Dr. Mehmet Ali KIRPIK	İKLİM BOZULMASININ YERALTI SULARINA ETKİSİ	Dr.Serap ŞAHİN YİĞİT, Arş.Gör.Fatih YAYLA, Prof.Dr.Muhittin DOĞAN	YAŞAM FORMU SPEKTRUMU VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİN ENTEGRASYONU İLE SULAK ALAN BOZULMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ: GAZİANTEP GÖLETLERİ ÖRNEĞİ
15:15	15:30		3. SUNU	Oğuz Kaan GÜLDAĞ, Dr. Öğr. Üyesi Mert ELVERİCİ, Dr. Öğr. Üyesi Fatih DİKMEN, Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim TÜRKOĞLU, Dr. Faruk YILDIZ, Şifanur UĞURLU, Işıl ÇOLAK, Doç. Dr. Samed ŞİMŞEK, Prof. Dr. Kemal Volkan ÖZDOKUR, Doç. Dr. Hüseyin AKŞİT, Prof. Dr. Ali KANDEMİR	DOĞU ANADOLU SCROPHULARIA TAKSONLARINDA POLİNATÖR KOMPOZİSYONU SIKI TAKSONOMİK FİLTRELEMEYE İŞARET ETMEKTEDİR	Öğr.Gör.Aslı Elif KULOĞLU, Doç.Dr.Ersin AKGÖLLÜ, Dilan KUŞÇİ, Nesih ARSLAN, Gülbahar AKKURT, Emrullah ERTEN	KIRSALDA ATIK İLAÇ BİLİNCİ OLUŞTURMA VE KAYNAĞINDA TOPLAMA
15:30	16:00		4. SUNU	Anıl AZİZOĞLU, Prof.Dr.Erhan ÇALIŞKAN	AI-BASED DEFORESTATION DETECTION IN FOREST ECOSYSTEMS: A METHODOLOGICAL APPROACH	Dr. Sultan TÜRKOĞLU, Prof.Dr.Remziye Aysun KEPEKÇİ	TARIMSAL ATIKLARIN SÜRDÜRÜLEBİLİR KULLANIMI VE DEĞERLENDİRME POTANSİYELİ
16:15	16:45	SEMPOZYUM KAPANIŞ TÖRENİ (Ömer Asım Aksoy Toplantı Salonu)					
19:00	22:00	GALA YEMEĞİ (ÜCRETSİZ) — Dülükbaba Tabiat Parkı (Biyolojik Göleti)					

GÜN 4 — 16 MAYIS 2026 CUMARTESİ | Rumkale Tarihi Alan Gezisi		
10:00	18:00	GEZİ PROGRAMI — Rumkale Tarihi Alan Gezisi (Gaziantep Kültür Turu: Panorama Müzesi, Zeugma, Hayvanat Bahçesi, Botanik Bahçesi)

© 2026 Gaziantep Üniversitesi — 12. Uluslararası Ekoloji Sempozyumu (EKOLOJİ 2026) — Program Taslak

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
12. ULUSLARARASI EKOLOJİ SEMPOZYUMU
"Biyoçeşitlilik ve Sürdürülebilir Çevre"
13–16 Mayıs 2026 | Mavera Kongre ve Sanat Merkezi, Gaziantep Üniversitesi
KONGRE PROGRAMI ONLİNE
ZOOM ID:269 738 6033
ŞİFRE: Ases27

GÜN 3 — 15 MAYIS 2026 CUMA

BAŞLANGIÇ	BİTİŞ	ETKİNLİK / OTURUM SUNU				
10:00	12:30	◆ SÖZLÜ SUNUM OTURUMU 1	SALON 1 — MODERATÖR: Öğr. Gör. Zeynep ASUTAY			
10:00	10:15	1. SUNU	Balakhanova Gumru Vasif	ANALYTICAL ASSESSMENT OF MICROMYCETE FUNGAL COLONIZATION AND ITS ECOLOGICAL IMPACT ON CONSTRUCTION MATERIALS IN RESIDENTIAL BUILDINGS OF BAKU CITY		
10:15	10:30	2. SUNU	Öğr. Gör. Zeynep ASUTAY	Gezginci Arıcılığın Koloni Stresi ve Hastalık Duyarlılığına Etkisi		
10:30	10:45	3. SUNU	Defne SULHAN, Prof. Dr. Yavuz DEMİRCİ	ADIYAMAN İLİNDE TUBBİ ATIK YÖNETİMİNDE DİJİTAL İZLENEBİLİRLİK SİSTEMLERİNİN OPERASYONEL DAYANIKLILIK VE VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ (2020–2025)		
10:45	11:00	4.SUNU	Elif Cemre KAVALCI	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE GÖÇ İLİŞKİSİNİN İSTİHDAM ÜZERİNE ETKİSİ: OECD ÜLKELERİ İÇİN AMPİRİK BİR ANALİZ (1974-2023)		
11:00	11:15	5. SUNU	Dr.H.Nilüfer Yıldız	Tarım Ekosistemlerinin Restorasyonunda Bitki Büyümesini Teşvik Eden Bakterilerin (PGPB) Rolü ve Etki Mekanizmaları		
10:00	12:30	◆ SÖZLÜ SUNUM OTURUMU 3	SALON 3 — MODERATÖR:Prof. Dr. Sibel GÜRBÜZOĞLU YALMANCI		SALON 4 — MODERATÖR: Dr.Semiha YÜCEER	
10:00	10:15	1. SUNU	Arş.Gör.Ümmülhan KAŞIKCI ŞİMŞEK, Prof.Dr.Murat DİKİLİTAS, Prof.Dr.Canan CAN	Sürdürülebilir Çevre ve Biyoçeşitlilik: Kuraklık Stresinde Fusarium oxysporum f.sp. ciceris Irklarının Enzimatik Adaptasyonu	Prof.Dr.Aynur Demir, Assist.Prof.Dr.Onur Altınbaşak, Assist.Prof.Dr.Betül Büyükkılıç Altınbaşak, Assist.Prof.Dr.Onur ESEN, Assist.Prof.Dr.Adeleh Rashidi	INVESTIGATION OF HEAVY METAL ACCUMULATION IN SAMBUCUS EBULUS L. AND THE CORRELATION BETWEEN SOIL AND PLANT: A CASE STUDY OF KARTEPE AND KÖRFEZ, KOCAELİ, TÜRKİYE
10:15	10:30	2. SUNU	Şehribanur MARANGOZ, Dr.Öğr.Üyesi.Feyza Nur KAFADAR, Ali Mücahit GÜNEŞ, Prof.Dr.Canan CAN	BİYOTİK STRES KOŞULLARINDA BİTKİLERİN FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL SAVUNMA YANITLARI	Prof.Dr.Aynur Demir, Assist.Prof.Dr.Onur Altınbaşak, Assist.Prof.Dr.Betül Büyükkılıç Altınbaşak, Assist.Prof.Dr.Onur ESEN, Assist.Prof.Dr.Adeleh Rashidi	INVESTIGATION OF PHYTOREMEDIATION AND BIOMONITORING POTENTIAL OF CNICUS BENEDICTUS L
10:30	10:45	3. SUNU	Ezgi Yağmur SATIL, Dr.Öğr.Üyesi.Feyza Nur KAFADAR, Ali Mücahit GÜNEŞ, Prof.Dr.Canan CAN	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVESİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE BAZI TEKNOLOJİK GELİŞMELER	Dr.Semiha YÜCEER	Trichoderma spp. UYGULAMALARININ FUSARİUM HASTALIK ETMENİNE KARŞI SÜRDÜRÜLEBİLİR VE ÇEVRE DOSTU MÜCADELEDEKİ ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ
10:45	11:00	4. SUNU	Prof.Dr. Sibel GÜRBÜZOĞLU YALMANCI, Gizem BOZKURT	LİSE ÖĞRENCİLERİNİN BİYOÇEŞİTLİLİĞE YÖNELİK OKURYAZARLILIKLARININ BAZI DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ	Sabina JAFARZADEH, Bahar MAMMADOVA, Doç. Dr. Elman ISKENDER	BIODIVERSITY CONSERVATION: INTEGRATING IN SITU AND EX SITU STRATEGIES FOR ECOLOGICAL SUSTAINABILITY
10:00	12:30	◆ SÖZLÜ SUNUM OTURUMU 4	SALON 5 — MODERATÖR: Doç. Dr. Şeyda FİKİRDEŞİCİ ERGEN		SALON 6 — MODERATÖR:Prof.Dr.Can DEMİREL	
10:00	10:15	1. SUNU	Doç. Dr. Şeyda FİKİRDEŞİCİ ERGEN	DİKİLİTAŞ GÖLETİ SEDİMENTİNDE METAL(LOİD) VE MİKROPLASTİKLERİN BİRLEŞİK KİRLİLİĞİ	Dr.Sultan TÜRKOĞLU, Prof.Dr.Remziye Aysun KEPEKÇİ	TARIMSAL ATIKLARIN SÜRDÜRÜLEBİLİR KULLANIMI VE DEĞERLENDİRME POTANSİYELİ
10:15	10:30	2. SUNU	Beyza ERTEK	BİREYLERİN KARBON VE EKOLOJİK AYAK İZİ FARKINDALIKLARININ DEĞER-İNANÇ-NORM KURAMI ÇERÇEVESİNDE İNCELENMESİ: NİTEL BİR ARAŞTIRMA	Prof.Dr.Can DEMİREL, Amal ALNABHAN	Nano ve Mikroplastiklerin Hücresel Etkileşimleri ve Toksikolojik Etkileri
10:30	10:45	3. SUNU	Öğr.Gör.Salih MALKOÇOĞLU, Dr.Öğr.Üyesi. Ergün KAHVECİ	ORMAN YANGINI SONRASI YÜZEY ÖRTÜSÜNÜN TRANSECT TABANLI KARAKTERİZASYONU: YANMA ŞİDDETİ, ORGANİK ÖRTÜ KORUNUMU VE YEŞİLLENME GÖSTERGELERİ	Dr. Ertan KARAHANLI, Dr. Öğrt. Ü. Aşkın TEKİN, Prof.Dr. Cengiz MUTLU	GLOBAL WARMING AND RIVER ECOSYSTEMS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS
10:45	11:00	4. SUNU	Arş.Gör.Betülnur ÖZEL, Doç.Dr.Betül AKIN	Draba brunifolia subsp. olympica (Sibth. ex DC.) Coode & Cullen TOHUMLARINDA FARKLI SICAKLIK VE ORTAM KOŞULLARININ ÇİMLENME VE FİDE GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ	Öğr.Gör.Dr. Hatice AY, Elif Nisa ERCAN, Fatma YILMAZ	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE MÜCADELEDE KENTSEL BİYOÇEŞİTLİLİĞİN KORUNMASININ ÖNEMİ: YEŞİL KORİDOR YAKLAŞIMI ÜZERİNDEN BİR ARAŞTIRMA
					Prof. Dr. Can DEMİREL, Amina HANNAN	Nano ve Mikroplastiklerin Hücre Organellerine Etkileri
10:00	12:30	◆ SÖZLÜ SUNUM OTURUMU 5	SALON 7 — MODERATÖR: Doç.Dr. Aysel ALKAN UÇKUN		SALON 8 — MODERATÖR: Dr.Ebru ÖZCAN	
10:00	10:15	1. SUNU	Arş.Gör. Ali Çelik	EVALUATION OF CAMERA TRAP-BASED POPULATION ESTIMATION APPROACHES FOR WILDLIFE RESEARCH IN TÜRKİYE	Uzman Biyolog Saadet İŞLEK	AĞAÇLANDIRMA SAHALARININ İZLENMESİ VE ORMANLAŞTIRMA BAŞARISININ ANALİZİ
10:15	10:30	2. SUNU	Doç.Dr. Aysel ALKAN UÇKUN	Su Arıtımında Yeşil Kimyasal Yöntemler	Dr.Ebru ÖZCAN, Uzman Biyolog Saadet İŞLEK	ÇANAKKALE İLİ ORMAN EKOSİSTEMLERİNİN EUNIS HABİTAT SINIFLANDIRMASINA DAYALI ANALİZİ
10:30	10:45	3. SUNU	Dr.Öğr.Üyesi.Şeyma AKKURT	ELEKTRONİK ATIKLARIN SÜRDÜRÜLEBİLİR GERİ KAZANIMI	Mirac YAMAN, Prof. Dr. Murat DİKİLİTAŞ, Prof. Dr. Ayşe Yıldız PAKYÜREK	NADİR KÜLTÜRLERDE MİKROBİYAL KONTAMİNASYONUN EKONOMİK YOLLARLA ÖNLENMESİ
10:45	11:00	4. SUNU	Assist.Prof.Dr.Pınar GÜRBÜZER	CAN ZOOPLANKTON BE DETECTED WITHOUT SAMPLING? PRELIMINARY OPTICAL RESULTS FROM A DAPHNIA SP. POPULATION	Ender ŞENER, Prof.Dr.Murat DİKİLİTAŞ, Doç.Dr.Sema KARAKAŞ, Prof.Dr.Abdurrahim KOÇYİĞİT, Prof.Dr.Şahabettin SELEK	COLLOIDAL SILVER: AN ABIOTIC NANOTECHNOLOGICAL ELICITOR IMPROVING SUNFLOWER PLANTS UNDER DROUGHT and HIGH TEMPERATURE
10:00	12:30	◆ SÖZLÜ SUNUM OTURUMU 6	SALON 9 — MODERATÖR: Doç.Dr.Cevher İlhan CEVHERİ		SALON 10 — MODERATÖR: Dr.Öğr.Üyesi.Fatma NALBANT	
10:00	10:15	1. SUNU	Yekta Nur KIRMIZI, Doç.Dr.Cevher İlhan CEVHERİ	PAMUKTA (GOSSYPİUM HİRSUTUM L.) FARKLI DEPOLAMA KOŞULLARININ LİF KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ	Dr. Öğr. Üyesi Zehra TOZLU	Türkiye'de göçmen kuşların göç dinamikleri, rotaları ve ekolojik önemi: İç Anadolu sulak alanları üzerine bir değerlendirme
10:15	10:30	2. SUNU	Ahmet Civan YAZMACI, Doç.Dr.Cevher İlhan CEVHERİ	PAMUK BİTKİSİNDE (GOSSYPİUM HİRSUTUM L.) FARKLI MİKROBİYAL GÜBRE UYGULAMALARININ BAZI VERİM VE VERİM PARAMETRELERİNE ETKİSİ	Gökçe KÜSMÜŞ, Dr. Öğr.Üyesi Özlem ÇOLAK	THE EU EMISSIONS TRADING SYSTEM EXPOSURE AND AIRLINE DECARBONISATION STRATEGIES IN TÜRKİYE
10:30	10:45	3. SUNU	Doç.Dr.Cevher İlhan CEVHERİ	REJENERATİF PAMUK TARIMINDA BİYOÇEŞİTLİLİĞİN ÖNEMİ	Leyla KILCI	Yapay Konukçu Olarak Çin Meşe ve Eri İpekböceği Yumurtalarında Trichogramma Türlerinin Gelişim Farklılıkları Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme
10:45	11:00	4. SUNU	Esin YILDIRIM	SİVAS BELEDİYESİ ÇALIŞANLARININ EKOLOJİK AYAK İZİ FARKINDALIKLARI	Dr.Öğr.Üyesi.Fatma NALBANT, Öğr.Gör.Dr.Hatice AY	KENTLERDE YEŞİL VE DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN ETKİLEŞİMİ: EKOLOJİK-TEKNOLOJİK KENTLER
11:00	11:15	4. SUNU	Doç.Dr. Cevher İlhan CEVHERİ	REJENERATİF PAMUK TARIMINDA EKİM NÖBETİNİN ÖNEMİ		
10:00	12:30	◆ SÖZLÜ SUNUM OTURUMU 7	SALON 11 — MODERATÖR:Dr. Öğr. Üyesi.Ergün KAHVECİ		SALON 12 — MODERATÖR:Doç. Dr. Ortaç ONMUŞ	
10:00	10:15	1. SUNU	Sədaqət Musayev	İNSAN EKOLOJİSİ: KURAMSAL YAKLAŞIMLAR VE GÜNCEL PERSPEKTİFLER	Ortaç ONMUŞ, Arzu GÜRSOY ERGEN, Melis ÖZERBİL, Muhammet ERTEM, Ayşenur AKGÜN, Nilsu KACAROĞLU, Bulut OKUMUŞOĞLU, Göktuğ SÖNMEZ, Mercan Leon ONMUŞ, Arnaud BECHET, Antoine ARNAUD, Christophe GERMAIN, Mehmet SİKİ, Özge BALKIZ	CONSERVATION OF THE GREATER FLAMINGO (Phoenicopterus roseus) IN THE GEDİZ DELTA: POPULATION TRENDS, FEEDING ECOLOGY, ECOSYSTEM SERVICES, AND DISPERSAL DYNAMICS
10:15	10:30	2. SUNU	Yusuf Sıraç DURAK, Doç. Dr. Esra BAYAR	HOW DOES SEASONAL CHANGE AFFECT THE ECOPHYSIOLOGY OF FOUR MEDITERRANEAN TREE SPECIES?	Muhammet Ertem, Ortaç Onmuş, Arzu Gürsoy Ergen, Ayşenur Akgün, Murat Ataol, Ümit Bolat	CHANGES IN THE WHITE STORK (CICONIA CICONIA) POPULATION IN TÜRKİYE OVER THE LAST 10 YEARS (2014-2024)
10:30	10:45	3. SUNU	İLKNUR TEPE, Dr.Öğr.Üyesi.BURCU GÜDÜCÜ	Cadılık, Şifacılık ve Ekofeminizm: Anadolu'da Kadın-Doğa Bağının Tarihsel ve Kuramsal Bir İncelemesi	Göktuğ Sönmez, Muhammet Ertem, Melis Özerbil, Doç. Dr. Ortaç Onmuş	TÜRKİYE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR AVCILIK: KORUNAN TÜRLER VE MEVCUT SORUNLAR ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME
10:45	11:00	4. SUNU	Dr. Öğr. Üyesi.Ergün KAHVECİ	SAF VE KARIŞIK DOĞAL KARAÇAM (Pinus nigra subsp. pallasiana) MEŞCERELERİNDE TOPRAK ÜSTÜ BİLEŞENLERE GÖRE BİYOKÜTLE VE KARBON DAĞILIMI	Burak Can ERDAĞ, Oleksiy YANCHUKOV	Türkiye'nin Batısındaki Bombina variegata Popülasyonunun Genetik Çeşitliliği (Edirne, Enez) **(POSTER SUNUMU)**
11:00	11:15	5. SUNU	Evren DENİZ TURAN	ERKEN ÇOCUKLUKTA SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR ÇEVRE İÇİN EKOLOJİK SANAT	Candan YAYLA TOPCU , Alexey YANCHUKOV, Faruk ÇOLAK	TOPRAK ALTINDA YAŞAMAYA UYUM SAĞLAMIŞ BİR TÜR OLAN Nannospalax xanthodon'DA TÜKÜRÜK BEZLERİNİN MORFOOLOJİK VE HİSTOLOJİK OLARAK İNCELENMESİ ÜZERİNE İLK GÖZLEMLER **(POSTER SUNUMU)**
11:15	12:00	6. SUNU				

© 2026 Gaziantep Üniversitesi — 12. Uluslararası Ekoloji Sempozyumu (EKOLOJİ 2026) — Program Taslak

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
12. ULUSLARARASI EKOLOJİ SEMPOZYUMU
"Biyoçeşitlilik ve Sürdürülebilir Çevre"
POSTER PROGRAMI

14 MAYIS 2026 PERŞEMBE
POSTER OTURUMU 1 (10:00–12:00)

POSTER NO	BİLDİRİ BAŞLIĞI	YAZARLAR
P1	Centaurea (Asteraceae) Cinsi Cheirolepis Seksiyonun Meyve Anatomisi	Doç. Dr.Burcu Yılmaz Çıtak
P2	CİPROFLOXACİNİN ARPA VE BUĞDAY'DA ANTİOKSİDAN KAPASİTE VE FENOLİK İÇERİK ÜZERİNE ETKİLERİ	Nisa DEMİR, Tuğçe VAROL, Dr.Öğr.Üyesi.Müjgan ELVEREN, Prof.Dr. Etem OSMA
P3	SÜRDÜRÜLEBİLİR TASARIM KRİTERLERİ BAĞLAMINDA YEŞİL MİMARİ: ENERJİ ETKIN YAPI ÜRETİM YAKLAŞIMLARININ MİMARİ ÖLÇEKTE DERLENMESİ	Çiğdem TOPLAR KORKMAZ, Ebru Bozlar, Banu GÖKÇEK
P4	The Effect of Funneliformis mosseae, Trichoderma virens, and Nigella sativa L. Waste Applications on Plant Growth and Physiological Characteristics in Broccoli Under Greenhouse Conditions	Yemliha ÇİRKİN, Sezgin ARDA, Dr. Öğr. Üyesi Hasret GÜNEŞ, Dr. Öğr. Üyesi Muzaffer KIRPIK, Dr. Öğr. Üyesi Ceren Ayşe BAYRAM, Prof. Dr. Gökhan BÜ YÜK
P5	Bitki Doku Kültürü Yaklaşımlarının Biyoteknolojik ve Tarımsal Uygulamaları	Abdullah DEMİR, Prof.Dr.Canan CAN
P6	EKSTREM ORTAMLARDA EVRİMSEL EKOLOJİ BAĞLAMINDA UYUM SÜREÇLERİ VE DAYANIKLILIK MEKANİZMALARI	Evra YILMAZ, Abuzer ÇELEK Lİ
P7	INTEGRATING FUZZY LOGIC AND BIOLOGICAL CONDITION GRADIENT (BCG) FOR ECOLOGICAL WATER QUALITY ASSESSMENT	Özgür Eren ZARİÇ, Ömer LEKESZ, Abuzer ÇELEK Lİ
P8	BİYOLOJİK KONTROL MEKANİZMALARI NIN GÜNEL EKOLOJİK VE TARIMSAL SORUNLAR ÇERÇEVESİNDE DEĞERLENDİRMESİ	İbrahim Ethem BULUT, Derya İŞLER CEYHAN
P9	Catalpa bignonioides'in FİTOKIMYASAL ZENGINLİĞİ VE BİYOLOJİK AKTİVİTE POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRMESİ	İbrahim EyüP ERBİL, Dilek BÜ YÜKBEŞE YAYLA, Fatih YAYLA
P10	ROLE OF AQUATIC MACROPHYTES IN WETLAND SUSTAINABILITY AND CARBON SEQUESTRATION	Beyza Yıldırım, Muhittin Doğan
P11	KÜRESEL ISINMA İLE TÜRKİYE TOPRAKLARI NEM REJİMİ İLİŞKİSİ	Esranur BODUR, Prof.Dr.Erdihan TUNÇ
P12	ATIK SU ARITIMINDA YEŞİL SENTEZLENMİŞ NANOPARTİKÜLLER	Salih Can ÇAKIR, Prof.Dr.Remziye Aysun KEPE KÇ
P13	MAHLEP (PRUNUS MAHALEB L.) BİTKİSİNİN ETNOBOTANIK VE EKOLOJİK ÖNEMİ	Rabia CEYLAN, Prof.Dr.Nazım ŞEKEROĞLU
P14	GAZİANTEP İLİ BOYA BİTKİLERİ: TÜRKİYE FLORASIYLA KARŞILAŞTIRMALI SİSTEMATİK BİR DEĞERLENDİRME	Rabia CEYLAN, Ceyda İYİMUTAF, Şeyda YILMAZ, Fatih Yayla

14 MAYIS 2026 PERŞEMBE
POSTER OTURUMU 2 (14:00–16:00)

POSTER NO	BİLDİRİ BAŞLIĞI	YAZARLAR
P15	Kentsel-Kırsal Geçiş Zonunda Yer Alan Bir Birey Asio otus'un (Kulaklı Orman Baykuşu) Kış Dönemi Pelet Analizi	Arş.Gör.Kadir ULUSOY
P16	PESTİSİTSİZ KOŞULLARDA BAĞ FİDANLARINDA Theretra alecto'NUN BELİRLENMESİ VE AGROEKOSSTM BİYOÇEŞİTLİLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	İbrahim Halil DEMİR, Mustafa AÇIKGÖZ, Mahmut Murat ASLAN, Elif NURHAK
P17	EKOLOJİK SANAT TEMELLİ DENEYM ELERİN MİMARLIK ÖĞRENCİLERİNDE EKOLOJİK DÜŞÜNCEYE ETKİSİ: BİYOMİMİKRİ ODAKLI BİR YAKLAŞIM	Sibel ÇUKADAR, Çiğdem TOPLAR KORKMAZ, Ayşegül ERDOĞAN, Ebru BOZLAR
P18	Dünya Genelinde Sarımsakta (Allium sativum L.) Stemphylium Türlerinin DNA Barkodlama ile Moleküler Tanımlanması	Büşra ORBAY, Melike AĞDAĞ, Olcay DEDECAN, Prof.Dr.Canan CAN
P19	MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN EPİGENETİK ETKİLERİ VE BİYOREMEDYAS YON	Asude DURMAZ, Prof.Dr.Filiz ÖZBAŞ GERÇEKER
P20	Akdeniz Elementi Bazı Lamiaceae Taksonlarında Ekolojik Faktörlere Bağlı Fitokimyasal Varyasyon Farklılıkları	Nisa Buket KARA, Mustafa PEHLİVAN
P21	EKOLOJİK FAKTÖRLERİN HAYVAN DNA YAPISI ÜZERİNE ETKİLERİ	Gül AYHAN, Adile AKPINAR
P22	BİTKİLERDE DÜŞÜK VE YÜKSEK SICAKLIK STRESSİNİN FİZYOLOJİK ETKİLERİ VE BİYOKMYASAL SAVUNMA MEKANİZMALARI	Bahar Gökçe TUNCER, Gülsüm CEVAHİR, Dr.Öğr.Üyesi.Feyza Nur KAFADAR
P23	YAPAY ZEKA VE BİYOLOJİ İLİŞKİSİ: GÜNEL YAKLAŞIMLA AR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ	Melike Aycan TABUR, Doç. Dr. Türkan GÜRER
P24	Gaziantep İli Çay Bitkileri: Etnobotanik Kayıtlara ve Türkiye Geneli Karşılaştırmasına Dayalı Bir Değerlendirme	Elif KIZILELİ, Nisa Buket KARA, Ebru BOZLAR, Fatih YAYLA
P25	RUBUS SPP. TÜRLERİNİN TIBBİ KULLANIMLARI VE EKOLOJİK ÖNEMİ	Ceyda İYİMUTAF, Prof.Dr.Nazım ŞEKEROĞLU
P26	TÜRLER ARASI REKABET SİLAHI OLARAK ALLELOKİMYASALLAR	Elif KIZILELİ, Mustafa PEHLİVAN
P27	Türkiye'nin Batısındaki Bombina variegata Popülasyonunun Genetik Çeşitliği (Edirne, Enez)	Burak Can ERDAĞ, Dr.Öğr.Üyesi.Oleksiy YANCHUKOV
P40	SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE TARIMDA ENERJİ KULLANIMI	Prof. Dr. Osman GÖKDOĞAN

15 MAYIS 2026 CUMA
POSTER OTURUMU 3 (10:00–12:00)

POSTER NO	BİLDİRİ BAŞLIĞI	YAZARLAR
P28	CAFFEİN ETKEN MADDESİNİN ARPA BİTKİSİNİN ANTİOKSİDAN KAPASİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ	Nisa DEMİR, Tuğçe VAROL, Dr.Öğr.Üyesi. Müjgan ELVEREN, Prof.Dr.Etem OSMA
P29	KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ FEN FAKÜLTESİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ETKİNLİKLERİ	Doç. Dr. Emel Diraz Yıldırım, Dr. Öğr. Üyesi Özlem Güven, Prof. Dr. Serhan Uruş, Erdem AKGÜL, Zahide TURAN, Sinem TEKİN OKUMUŞ
P30	STRESE UYUM STRATEJİLERİ: GENEL ADAPTASYON SENDROMU	Serhat DEMIREL, Demet DOGAN
P31	Sarımsakta Sürdürülebilir Gelecek: Agroekolojik Yaklaşımlar ve Uygulamalar	Melike AĞDAĞ, Büşra ORBAY, Olcay DEDECAN, Prof.Dr.Canan CAN
P32	BURKİNA FASO ÜLKESİNDE YETİŞEN TIBBI BİTKİLER	Sallahoudinne KONATE, Mehmet OZASLAN
P33	ONARICI TARIMDA MİKORİZAL SİMBİYOZUN ÖNEMİ	Lobaba KHOJA, Dr.Öğr.Üyesi.Berna Baş
P34	TEKSTİL ENDSTİRİSİNDE EKOLOJİK DÖNÜŞÜM: BİYO-MORDANLARIN KULLANIIMI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ	Akın YAVUZ, Arş.Gör.Naime KAPLAN, Dr.Öğr.Üyesi.Dilek BÜ YÜKBEŞE YAYLA, Arş.Gör.Fatih YAYLA
P35	TARIMSAL EKOSSTLEMLERDE KURAKLIK STRESSİNİN BİTKİSEL HORMONLAR VE SAVUNMA YANITLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	Zehra Azra KILIÇ, Dr.Öğr.Üyesi.Feyza Nur KAFADAR
P36	TÜRKİYE'NİN JEOMORFOLOJİK GEREĞİ KAF VE DAF	Kübra Nur KALAY, Prof.Dr.Erdihan TUNÇ
P37	BİYOPLASTİKLER	Büşra KAYA, Prof.Dr.Remziye Aysun KEPE KÇ
P38	MAVİ DÜNYADA TEHLİKE ÇANLARI: İKLİM DEĞİŞKLİĞİNİN AKUATİK ORTAMLARA YANSIMALARI	İbrahim Turgay CAN, Demet DOĞAN
P39	İSLAHİYE BİBERİNDE GÖRÜLEN BİTKİ HASTALIKLARIN SINIFLANDIRILMASI VE ENTEGRE MÜCADELE YAKLAŞIMLARI	Sudem Sercan, Berna Baş
P41	A Systems-Based Review of Industrial Hemp Harvesting Mechanization: Loss Mechanisms, Energy Use and Design Criteria	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin GÖKDUMAN, Prof. Dr. Deniz YILMAZ

© 2026 Gaziantep Üniversitesi — 12. Uluslararası Ekoloji Sempozyumu (EKOLOJİ 2026)

AUTHOR(s)	TITLE	PAGE NO
Mehmet Tolga KAPLAN Adile AKPINAR Mehmet YARAN	AKREPLERİN HABİTAT TERCİHLERİ	1
Balakhanova Gumru Vasif	ANALYTICAL ASSESSMENT OF MICROMYCETE FUNGAL COLONIZATION AND ITS ECOLOGICAL IMPACT ON CONSTRUCTION MATERIALS IN RESIDENTIAL BUILDINGS OF BAKU CITY	2
Murat TAK Ahmet Zafer TEL Musa GÜRBÜZ	ÇAT BARAJI (ÇELİKHAN) YÜZEN ADALARININ SON 25 YILLIK DEĞİŞİMİ VE VEJETASYON FLORASI	13
Can DEMİREL Amal ALNABHAN	Nano ve Mikroplastiklerin Hücresel Etkileşimleri ve Toksikolojik Etkileri	20
Defne SULHAN Yavuz DEMİRCİ	ADIYAMAN İLİNDE TIBBİ ATIK YÖNETİMİNDE DİJİTAL İZLENEBİLİRLİK SİSTEMLERİNİN OPERASYONEL DAYANIKLILIK VE VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ (2020–2025)	25
Fadime KARABULUT	The Investigation of Biochemical Responses and Lipid Metabolism in Soybeans Under Varying Concentrations of NAA and SA Plant Growth Hormones	31
Fadime KARABULUT	Climate-Driven Physiological Adaptations in Plants: Molecular and Functional Perspectives	39
Zafer YILDIZ Nuri Kaan ÖZKAZANÇ	Determination of habitat use preferences of red deer in Kütahya Türkmenbaba Wildlife Development Area	51
Zeynep ASUTAY	Bal Arısı Yetiştiriciliğinde Ekolojik Ayak İzi ve Sürdürülebilirlik İlişkisi	68
Zeynep ASUTAY Hakan İNCİ	Gezginci Arıcılığın Koloni Stresi ve Hastalık Duyarlılığına Etkisi	75
Deyana ABBAS Selçuk ARSLAN Canan CAN Hüseyin BOZKURT	PSÖDO-TAHILLAR VE ENZİM KULLANIMININ GLUTEN AZALTILMIŞ GOFRET ÜRETİMİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ	84
Ertan Karahanlı Aşkın TEKİN Cengiz MUTLU	Global Warming and River Ecosystems: A Bibliometric Analysis	93
Esin YILDIRIM	SİVAS BELEDİYESİ ÇALIŞANLARININ EKOLOJİK AYAK İZİ FARKINDALIKLARI	110
Ahmet Civan YAZMACI Cevher İlhan CEVHERİ	PAMUK BİTKİSİNDE (GOSSYPİUM HİRSUTUM L.) FARKLI MİKROBİYAL GÜBRE UYGULAMALARININ BAZI VERİM VE VERİM PARAMETRELERİNE ETKİSİ	114
Yekta Nur KIRMIZI Cevher İlhan CEVHERİ	Pamukta (Gossypium Hirsutum L.) Farklı Depolama Koşullarının Lif Kalitesi Üzerine Etkisi	119
Salih MALKOÇOĞLU Ergün KAHVECİ	Orman Yangını Sonrası Yüzey Örtüsünün Transect Tabanlı Karakterizasyonu: Yanma Şiddeti, Organik Örtü Korunumu ve Yeşillenme Göstergeleri	126
Ergün KAHVECİ Salih MALKOÇOĞLU	Saf ve Karışık Doğal Karaçam (Pinus nigra subsp. pallasiana) Meşcerelerinde Biyokütle ve Karbon Dağılımı	136
Mirac YAMAN Murat DİKİLİTAŞ Ayşe Yıldız PAKYÜREK	Nadir Kültürlerde Mikrobiyal Kontaminasyonun Ekonomik Yollarla Önlenmesi	147
Aynur DEMİR Onur ALTINBAŞAK Betül BÜYÜKKILIÇ ALTINBAŞAK Adeleh RASHİDİ	Investigation of Phytoremediation and Biomonitoring Potential of Cnicus benedictus L.	153
Aynur DEMİR Onur ALTINBAŞAK Betül BÜYÜKKILIÇ ALTINBAŞAK Onur ESEN Adeleh RASHIDI	Investigation of Heavy Metal Accumulation in Sambucus ebulus L. and The Correlation Between Soil and Plant: A Case Study of Kartepe and Körfez, Kocaeli, Türkiye	163
Ekrem ASLAN	Orman Alt Bölgelerinde Toprak Ve Vejetasyon Özelliklerinin Nematod Biyoçeşitliliği Üzerine Etkileri	173

İbrahim Halil ELEKCİOĞLU		
Anıl AZİZOĞLU Erhan ÇALIŞKAN	AI-BASED DEFORESTATION DETECTION IN FOREST ECOSYSTEMS: A METHODOLOGİCAL APPROACH	174
Ruhi ÖZDEMİR Necla KORALAY	APPLICATIONS OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND REMOTE SENSING IN WATERSHED MANAGEMENT	194
Beyza ERTEK	BİREYLERİN KARBON VE EKOLOJİK AYAK İZİ FARKINDALIKLARININ DEĞER-İNANÇ-NORM KURAMI ÇERÇEVESİNDE İNCELENMESİ: NİTEL BİR ARAŞTIRMA	215
Saadet İŞLEK	Ağaçlandırma Sahalarının İzlenmesi ve Ormanlaştırma Başarısının Analizi	225
Elif KIZILDELİ Mustafa PEHLİVAN	Türler Arası Rekabet Silahı Olarak Allelokimyasallar	237
Nisa Buket KARA Mustafa PEHLİVAN	Akdeniz Elementi Bazı Lamiaceae Taksonlarında Ekolojik Faktörlere Bağlı Fitokimyasal Varyasyon	254
Rabia CEYLAN Nazım ŞEKEROĞLU	Mahlep (Prunus mahaleb L.) Bitkisinin Etnobotanik Ve Ekolojik Önemi	264
Banu GÖKÇEK Fatih YAYLA Ebru BOZLAR	GAZİANTEP BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ'NE BAĞLI REKREASYON ALANLARININ MEKÂNSAL DAĞILIMI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ	284
Banu GÖKÇEK Fatih YAYLA Ebru BOZLAR	Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Kent Orman Varlığının Ekosistem Hizmetleri Açısından Değerlendirilmesi	297
Sena YAVRUOĞLU Aysen SÜNBÜL	Bakıya Bağlı Mikroklimatik Farklılıkların Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Meşcerelerinde Yapısal Stabilite Üzerine Etkisi	309
Ebru ÖZCAN Saadet İŞLEK	Çanakkale İli Orman Ekosistemlerinin EUNIS Habitat Sınıflandırmasına Dayalı Analizi	319
Orhan ECEMİŞ Rüstem KOCAÖZ	G7 Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Piyasası İstikrar Performansının SECA Yöntemiyle İncelenmesi	332
Sudenaz AYAZ Serap TOPRAK DÖŞLÜ	Algler ve Deniz Yosunlarının Sürdürülebilir Beslenmedeki Rolü: Alternatif Protein Kaynağı Olarak Değerlendirilmesi	356
Meryem Karaçam Göksal SEZEN, Çiğdem KÜÇÜK Fatih Duman	Cladophora sp. ve Microcystis sp.) alglerinin biyolojik gübre olarak, Melissa officinalis L. bitkisinin gelişimi ve büyümesi üzerine etkisi	371
Sena YAVRUOĞLU Aysen SÜNBÜL	Işık ve Rekabet Koşullarına Bağlı Olarak Kızılçam (Pinus brutia Ten.) Meşcerelerinde Tepe Gelişiminin (LCR) Değerlendirilmesi	382
Can DEMİREL Amına HANNAN	Nanoplastik ve Mikroplastiklerin Hücre Organellerine Etkileri	392
Mustafa AÇIKGÖZ Mahmut Murat ASLAN	Kahramanmaraş, Gaziantep ve Adıyaman İllerindeki Antep fıstığı Bahçelerinde Zararlı Agonoscena pistaciae Burkhardt & Lauterer, 1989 (Hemiptera: Aphalaridae)'nin Doğal Düşman Faunası: Biyoçeşitlilik ve Sürdürülebilir Çevre Açısından Değerlendirilmesi	407
Evren DENİZ TURAN	ERKEN ÇOCUKLUKTA SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR ÇEVRE İÇİN EKOLOJİK SANAT	430
Aysun GARGACI KINAY1,	YEREL GIDA MİRASI VE EKOLOJİK SORUMLULUK	431
Cafer EKEN Dudu DEMİR Tuba GENÇ KESİMCİ Mesude Figen DÖNMEZ YEŞİLDAĞ Emre SEVİNDİK Yusuf DÜŞGÜN Metin SAFTAN	DETERMINATION OF ENDOPHYTIC FUNGAL DIVERSITY IN DIFFERENT ORGANS OF APPLE (MALUS DOMESTICA) CULTIVATED IN EĞİRDİR (ISPARTA)	433
Dudu DEMİR Selda KABAK Cafer EKEN Gülsüm UYSAL Selda ÇALIŞKAN Emre SEVİNDİK	DETERMINATION OF PROTEASE ENZYME ACTIVITIES OF NEMATODE-TRAPPING FUNGI IMPORTANT FOR BIOLOGICAL CONTROL IN SUSTAINABLE AGRICULTURE	435
Osman GÖKDOĞAN	SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE TARIMDA ENERJİ KULLANIMI	437

Mehmet Emin GÖKDUMAN Deniz YILMAZ	ENDÜSTRİYEL KENEVİRDE HASAT MEKANİZASYONUNUN SİSTEM TEMELLİ DERLEMESİ: KAYIP MEKANİZMALARI, ENERJİ KULLANIMI VE TASARIM KRİTERLERİ	439
Burcu Yılmaz Çıtak	Centaurea (Asteraceae) Cinsi Cheirolepis Seksiyonun Meyve Anatomisi	441
Evrim SÖNMEZ	LAVANDULA ANGUSTIFOLIA İLE ANA METABOLİTİ LİNALOOL'ÜN TENEBRIO MOLITOR (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)'DA MORTALİTE VE LARVAL DÖNEM GELİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	443
Evrim SÖNMEZ	DEPOLANMIŞ ÜRÜN ZARARLISI BÖCEKLERE KARŞI LAVANTA UÇUCU YAĞLARININ KULLANIM POTANSİYELİ	445
Ayşenur ÇOLAK Semra ÇORUH	BAKIR ÜRETİM SÜREÇLERİNDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİSİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ	447
Talap TALAPOV Melike AĞDAĞ Büşra ORBAY Olcay DEDECAN, Canan CAN	YABANİ VE KÜLTÜRE ALINMIŞ TARIM EKOSİSTEMLERİNDE BİTKİ-PATOJEN ORTAK EVRİMİNE EKOLOJİK BAKIŞ AÇILARI	450
Abdullah DEMİR Canan CAN	BİTKİ DOKU KÜLTÜRÜ YAKLAŞIMLARININ BİYOTEKNOLOJİK VE TARIMSAL UYGULAMALARI	452
Büşra ORBAY Melike AĞDAĞ Olcay DEDECAN Canan CAN	Dünya Genelinde Sarımsakta (Allium sativum L.) Stemphylium Türlerinin DNA Barkodlama ile Moleküler Tanımlanması	454
Melike AĞDAĞ Büşra ORBAY Olcay DEDECAN Canan CAN	SARIMSAKTA SÜRDÜRÜLEBİLİR GELECEK: AGROEKOLOJİK YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMALAR	456
Dilek ŞAHİN1 Meryem ÖZ Ünal ÖZ	AN ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF NATURAL ADSORBENTS ON WATER PARAMETERS IN AQUACULTURE	458
Şeyma AKKURT	ELEKTRONİK ATIKLARIN SÜRDÜRÜLEBİLİR GERİ KAZANIMI	459
Sezgin ARDA Yemliha ÇİRKİN Hasret GÜNEŞ Ceren Tutku Doğan	Triple Interaction in the Rhizosphere: Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF), Nigella sativa L. Residues, and Trichoderma harzianum Applications on the Growth of Curly Lettuce (Lactuca sativa L. var. crispa)	461
Evra YILMAZ Abuzer ÇELEKLİ	EKSTREM ORTAMLARDA EVRİMSEL EKOLOJİ BAĞLAMINDA UYUM SÜREÇLERİ VE DAYANIKLILIK MEKANİZMALARI	462
Asude DURMAZ Filiz ÖZBAŞ GERÇEKER	MIKROPLASTIK KIRLILIĞININ EPIGENETIK ETKILERI VE BIYOREMEDIASYON	464
Sallahoudinne KONATE Mehmet OZASLAN	BURKİNA FASO ÜLKESİNDE YETİŞEN TIBBI BITKILER	466
Çağrı BALCI Kader KUŞ Sevgi SEVSAY	ERZİNCAN İLİNDEN TOPLANAN ERYTHRAEUS (ACARI: ERYTHRAEIDAE) TÜRLERİNİN HABİTAT TERCİHLERİ VE EKOLOJİK DEĞERLENDİRMESİ	469
Serhat DEMIREL, Demet DOGAN	STRESE UYUM STRATEJILERİ: GENEL ADAPTASYON SENDROMU	471
İbrahim Turgay CAN Demet DOĞAN	MAVİ DÜNYADA TEHLİKE ÇANLARI: İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN AKUATİK ORTAMLARA YANSIMALARI	473
Lobaba KHOJA Berna Baş	ONARICI TARIMDA MİKORİZAL SİMBİYOZUN ÖNEMİ	475
Cafer MURAT Mehmet Ali TABUR	Isparta Merkezinde Kaya Güvercinin (Columba livia Gmelin, 1789) Biyolojisi	477
Çağrı BALCI Kader KUŞ Sevgi SEVSAY	TÜRKİYE'DEN CURTERIA EPISCOPALIS (C. L. KOCH, 1837) (ACARI: ERYTHRAEIDAE) TÜRÜNÜN İLK KAYDI	478
Ortaç ONMUŞ Arzu GÜRSOY ERGEN Melis ÖZERBİL Muhammet ERTEM Ayşenur AKGÜN Nilsu KACAROĞLU Bulut OKUMUŞOĞLU Göktuğ SÖNMEZ	CONSERVATION OF THE GREATER FLAMINGO (Phoenicopterus roseus) IN THE GEDIZ DELTA: POPULATION TRENDS, FEEDING ECOLOGY, ECOSYSTEM SERVICES, AND DISPERSAL DYNAMICS	480

Mercan Leon ONMUŞ Arnaud BECHET Antoine ARNAUD Christophe GERMAIN Mehmet SIKI Özge BALKIZ		
Olcay DEDECAN Büşra ORBAY Melike AĞDAĞ Talap TALAPOV Murat DİKİLİTAŞ Canan CAN	Abiyotik Stres Faktörlerinin Bitki Patojeni Fungusların Epidemiyolojisine Etkileri	482
H.Nilüfer Yıldız	Tarım Ekosistemlerinin Restorasyonunda Bitki Büyümesini Teşvik Eden Bakterilerin (PGPB) Rolü ve Etki Mekanizmaları	484
Mustafa DEMİR1, Erdihan TUNÇ Sören THIELE-BRUHN	KARIŞIK ANTEP FISTIĞI (PİSTACİA VERA L.) VE ZEYTİN (OLEA EUROPAEA L.) BAHÇE TOPRAKLARINDA POTANSİYEL TOKSİK ELEMENTLERİN İNSAN SAĞLIĞINA YÖNELİK KARSİNOJENİK VE NON-KARSİNOJENİK RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	485
Göktuğ SÖNMEZ Muhammet ERTEM Melis ÖZERBİL Ortaç ONMUŞ	TÜRKİYE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR AVCILIK: KORUNAN TÜRLER VE MEVCUT SORUNLAR ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	487
İbrahim Ethem BULUT Derya İŞLER CEYHAN	BİYOLOJİK KONTROL MEKANİZMALARININ GÜNCEL EKOLOJİK VE TARIMSAL SORUNLAR ÇERÇEVESİNDE YENİDEN DEĞERLENDİRMESİ	489
Gül AYHAN Adile AKPINAR	EKOLOJİK FAKTÖRLERİN HAYVAN DNA YAPISI ÜZERİNE ETKİLERİ	491
Ümmühan KAŞIKCI ŞİMŞEK Murat DİKİLİTAS Canan CAN	Sürdürülebilir Çevre ve Biyoçeşitlilik: Kuraklık Stresinde Fusarium oxysporum f.sp. ciceris Irklarının Enzimatik Adaptasyonu	492
Sibel Gürbüzoğlu Yalmancı Gizem BOZKURT	LİSE ÖĞRENCİLERİNİN BİYOÇEŞİTLİLİĞE YÖNELİK OKURYAZARLILIKLARININ BAZI DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ	494
Serkan ÖZMEN Selma TABUR	ÇEŞİDE ÖZGÜ KİNETİN DUYARLILIĞI: KURAKLIK STRESİ ALTINDA BÜLBÜL-89 VE BURAKBEY ARPA ÇEŞİTLERİNDE MORFOFİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL YANITLAR	496
Yiğit ANTEPLİOĞLU Mehmet Ali TABUR	ISPARTA MERKEZİNDE TEPELİ TOYGAR (Galerida cristata)'IN BİYOLOJİSİ	498
Fahrettin ATAR Gözde KIYAGAN	VARIATION IN SEED MORPHOLOGICAL TRAITS AMONG TAURUS FIR (Abies cilicica) POPULATIONS	500
Songül Şeyda YILDIRIM Serap TOPRAK DÖŞLÜ	KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN İNSAN SAĞLIĞI VE BESLENME ÜZERİNE ETKİSİ	501
Akın YAVUZ Naime KAPLAN Dilek BÜYÜKBEŞE YAYLA Fatih YAYLA	TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE EKOLOJİK DÖNÜŞÜM: AĞIR METAL MORDANLARA ALTERNATİF OLARAK BİYO-MORDANLARIN KULLANIMI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ	503
Tuğçe VAROL Samed ŞİMŞEK Müjgan ELVEREN Etem OSMA	HABİTAT VE ORGAN FARKLILIKLARININ HEDYSARUM CANDİDİSSİMUM'UN ANTİOKSİDAN POTANSİYELİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	506
İbrahim Eyüp ERBİL Dilek BÜYÜKBEŞE YAYLA Fatih YAYLA	Catalpa bignonioides'in FİTOKİMYASAL ZENGİNLİĞİ VE BİYOLOJİK AKTİVİTE POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRMESİ	508
Semiha YÜCEER	Trichoderma spp. UYGULAMALARININ FUSARİUM HASTALIK ETMENİNE KARŞI SÜRDÜRÜLEBİLİR VE ÇEVRE DOSTU MÜCADELEDEKİ ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	510
Murat KÜTÜK Ayça DEMİRCİ Müslüm SARIKAYA	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDE KUŞ FANASININ BELİRLENMESİ	512

Şehribanur MARANGOZ , Feyza Nur KAFADAR , Ali Mücahit GÜNEŞ , Canan CAN	BİYOTİK STRES KOŞULLARINDA BİTKİLERİN FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL SAVUNMA YANITLARI	514
Şehribanur MARANGOZ ,Feyza Nur KAFADAR ,Ali Mücahit GÜNEŞ, Canan CAN	PHYSİOLOGİCAL AND BİOHEMİCAL DEFENSE RESPONSES OF PLANTS UNDER BİOTİC STRESS CONDİTİONS	516
Nisa DEMİR Tuğçe VAROL Müjgan ELVEREN Etem OSMA	CAFFEİN ETKEN MADDESİNİN ARPA BİTKİSİNİN ANTİOKSİDAN KAPASİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ	518
Sabina JAFARZADEH, Bahar MAMMADOVA Elman ISKENDER	BIODIVERSITY CONSERVATION: INTEGRATING IN SITU AND EX SITU STRATEGIES FOR ECOLOGICAL SUSTAINABILITY	519
Şeyda FİKİRDEŞİCİ ERGEN	DİKİLİTAŞ GÖLETİ SEDİMENTİNDE METAL(LOİD) VE MİKROPLASTİKLERİN BİRLEŞİK KİRLİLİĞİ	520
Nisa DEMİR Tuğçe VAROL Müjgan ELVEREN Etem OSMA	CİPROFLOXACİNİN ARPA (Hordeum vulgare L.) VE BUĞDAY (Triticum aestivum L.)'DA ANTİOKSİDAN KAPASİTE VE FENOLİK İÇERİK ÜZERİNE ETKİLERİ	522
Selma TABUR Serkan ÖZMEN	TRIACONTANOLÜN FARKLI ARPA GENOTİPLERİNDE KURAKLIK STRESİNE KARŞI ROLÜ: FİZYOLOJİK VE ENZİMATİK YANITLAR	523
Betülnur ÖZEL Betül AKIN	Draba bruniifolia subsp. olympica (Sibth. ex DC.) Coode & Cullen TOHUMLARINDA FARKLI SICAKLIK VE ORTAM KOŞULLARININ ÇİMLENME VE FİDE GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ	525
Aydın ATAKAN	RNA INTERFERENCE BASED CONTROL OF FUNGAL PLANT PATHOGENS: AN ENVİRONMENTALLY SUSTAİNABLE APPROACH	535
Derya İŞLER CEYHAN İbrahim Ethem BULUT	BİTKİ-PATOJEN ETKİLEŞİMLERİNDE ÇEVRESEL TETİKLEYİCİLERİN BİTKİ SAVUNMASI ÜZERİNDEKİ ROLÜROLLERİ	536
Sultan TÜRKOĞLU, Remziye Aysun KEPEKÇİ	TARIMSAL ATIKLARIN SÜRDÜRÜLEBİLİR KULLANIMI VE DEĞERLENDİRME POTANSİYELİ	537
Muhammet ERTEM Ortaç ONMUŞ Arzu Gürsoy ERGEN, Ayşenur AKGÜN Murat ATAOL Ümit BOLAT	CHANGES IN THE WHITE STORK (CICONIA CICONIA) POPULATION IN TÜRKİYE OVER THE LAST 10 YEARS (2014-2024)	539
Bahar Gökçe TUNCER, Gülsüm CEVAHİR, Feyza Nur KAFADAR	BİTKİLERDE DÜŞÜK VE YÜKSEK SICAKLIK STRESİNİN FİZYOLOJİK ETKİLERİ VE BİYOKİMYASAL SAVUNMA MEKANİZMALARI	540
Zehra Azra KILIÇ, Feyza Nur KAFADAR	TARIMSAL EKOSİSTEMLERDE KURAKLIK STRESİNİN BİTKİSEL HORMONLAR VE SAVUNMA YANITLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	542
Beyza Yıldırım Muhittin Doğan	ROLE OF AQUATIC MACROPHYTES IN WETLAND SUSTAINABILITY AND CARBON SEQUESTRATION	544
Murat KÜTÜK Ayça DEMİRCİ Müslüm SARIKAYA	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDE KUŞ FANASININ BELİRLENMESİ	545
Mürşit Ömür KOYUNCU Damla İNAL Gül AYHAN	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPÜS İÇERİSİNDEKİ GÜNDÜZ KELEBEKLERİNİN BELİRLENMESİ	547
Vedat GÖRMEZ Zeynep BOYRAZ İbrahim Halil AKAR	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPÜSÜNDE REPTİLİA (SÜRÜNGEN) FAUNASININ BELİRLENMESİ	548
Melike Aycan TABUR Türkan GÜRER	YAPAY ZEKA VE BİYOLOJİ İLİŞKİSİ: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ	550
Kübra Nur KALAY Erdihan TUNÇ	TÜRKIYE'NİN JEOMORFOLOJİK GERÇEĞİ KAF VE DAF	551
Esranur BODUR Erdihan TUNÇ	KÜRESEL ISINMA İLE TÜRKİYE TOPRAKLARI NEM REJİMİ İLİŞKİSİ	552

Asiye SEÇKİN Adile AKPINAR Mehmet YARAN Fatma YILMAZ	İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİNİN ÖRÜMCEKLER ÜZERİNE OLASI ETKİLERİ	553
Burak Can ERDAĞ Oleksiy YANCHUKOV	Türkiye'nin Batısındaki Bombina variegata Popülasyonunun Genetik Çeşitliliği (Edirne, Enez)	554
Ezgi Yağmur SATIL, Feyza Nur KAFADAR, Ali Mücahit GÜNEŞ, Canan CAN	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVESİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE BAZI TEKNOLOJİK GELİŞMELER	556
Fatma ÖZMEN Mehmet YARAN Murat KÜTÜK	Lucanus cervus (LINNAEUS, 1758) (Geyik Böceği) ALT TÜRLERİNİN TÜRKİYE'DEKİ YAYILIŞLARI VE EKOLOJİK ÖNEMİ	559
Omar KHESHKAR Furkan PALA Nurettin Furkan DOĞAN	SUSTAINABLE ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL SYNTHETIC FIBER REINFORCED COMPOSITES: MECHANICAL PERFORMANCE OF JUTE/BASALT HYBRID COMPOSITES	560
Ali ÇELİK	EVALUATION OF CAMERA TRAP-BASED POPULATION ESTIMATION APPROACHES FOR WILDLIFE RESEARCH IN TÜRKİYE	562
Abdulsamet KÖSEOĞLU Adile AKPINAR Mehmet YARAN	AĞ ÖRÜMCEKLERİNİN EKOLOJİK TERCİHLERİ	563
Muhammed Fatih Yıldız Samir Hasanov Asiye Nur Yıldırım Mehmet Mutlu Taş, Abdulsamet Yoldaş, Mehmet Çağatay Akbolat Ferhat Yetiş	A STUDY ON THE CHARPY IMPACT PERFORMANCE OF GLASS FIBER/VINYL ESTER COMPOSITES ENHANCED WITH CHOPPED JUTE FIBERS	564
Ahmet AKSOY Uğurcan BARAN	SERPANTİN ENDEMİĞİ Noccaea birolmutlui: NİKEL HİPERAKÜMÜLATÖRLERİ ARASINA YENİ BİR KATKI	566
Emel DIRAZ YILDIRIM Emre YAZAR Ferit KOCAÇINAR Şengül KARAMAN	SPERMİN VE MELATONİN UYGULAMALARININ TUZ STRESİ KOŞULLARINDA YETİŞEN Ocimum basilicum L.'UN FOTOSENTETİK PARAMETRELER ÜZERINE ETKİSİ	568
Sudem Sercan Berna Baş	İSLAHİYE BİBERİNDE GÖRÜLEN BİTKİ HASTALIKLARININ SINIFLANDIRILMASI VE ENTEGRE MÜCADELE YAKLAŞIMLARI	569
Hatice AY Elif Nisa ERCAN Fatma YILMAZ	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE MÜCADELEDE KENTSEL BİYOÇEŞİTLİLİĞİN KORUNMASININ ÖNEMİ: YEŞİL KORİDOR YAKLAŞIMI ÜZERİNDEN BİR ARAŞTIRMA	570
Büşra KAYA Remziye Aysun KEPEKÇİ	BİYOPLASTİKLER	573
Salih Can ÇAKIR Remziye Aysun KEPEKÇİ	ATIK SU ARITIMINDA YEŞİL SENTEZLENMİŞ NANOPARTİKÜLLER	574
Esra TAŞÇI Esra ATACAN DOĞAN Vedat GÖRMEZ Murat KÜTÜK	TERELLIA VIRENS GRUP İÇERİSİNDE 16S rDNA BÖLGESİNİN TÜR DÜZEYİ FİLOGENETİK AYRIMA KATKISININ DEĞERLENDİRİLMESİ	576
Esra ATACAN DOĞAN Murat KÜTÜK	TERELLIA RHAPONTCHI BİREYLERİNDE FARKLI GEN BÖLGELERİNİN TÜR İÇİ FİLOGENETİK ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ (DIPTERA: TEPHRITIDAE	577
Demet YILMAZKAYA GOGUS Aycan TOSUNOGLU	MONITORING and ASSAEEMENT of AIRBORNE Cladosporium Link and Alternaria Nées SPORES İN DİKİLİ (İZMİR) TURKIYE	579
Durmuş OK, Osman SEYYAR, Mehmet YARAN	ERCİYES DAĞI'NDA (KAYSERİ, TÜRKİYE) YAYILIŞ GÖSTEREN YER ÖRÜMCEKLERİNİN (GNAPHOSIDAE) SHANNON-WIENER ÇEŞİTLİLİK İNDEKSİ AÇISINDAN VERTİKAL DEĞERLENDİRİLMESİ	580
Oğuz Kaan Güldağ Mert Elverici Fatih Dikmen	DOĞU ANADOLU SCROPHULARIA TAKSONLARINDA POLİNATÖR KOMPOZİSYONU SIKI TAKSONOMİK FİLTRELEMEYE İŞARET ETMEKTEDİR	581

Halil İbrahim Türkoğlu Faruk YILDIZ Şifanur Uğurlu Işıl Çolak Samed Şimşek Kemal Volkan Özdokur Hüseyin Akşit Ali Kandemir		
Ebru BOZLA Fatih YAYLA Banu GÖKÇEK Şeyda YILMAZ	GAZİANTEP İLİNİN DOĞA TURİZMİ VE BİYOÇEŞİTLİLİK TEMELLİ EKOTURİZM POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: MEVCUT DURUM VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ	584
Pınar GÜRBÜZER	CAN ZOOPLANKTON BE DETECTED WITHOUT SAMPLING? PRELIMINARY OPTICAL RESULTS FROM A DAPHNIA SP. POPULATION	586
Candan YAYLA TOPCU Alexey YANCHUKOV, Faruk ÇOLAK	TOPRAK ALTINDA YAŞAMAYA UYUM SAĞLAMIŞ BİR TÜR OLAN Nannospalax xanthodon'DA TÜKÜRÜK BEZLERİNİN MORFOOLOJİK VE HİSTOLOJİK OLARAK İNCELENMESİ ÜZERİNE İLK GÖZLEMLER	587
Derya ARSLAN TALAPOV Adile AKPINAR	GNAPHOSİDAE (ARANEAE) FAUNASI ÜZERİNE EKOLOJİK BİR DEĞERLENDİRME: HABİTAT TERCİHLERİ	589
Emel DIRAZ YILDIRIM Özlem GÜVEN Serhan URUŞ Erdem AKGÜL Zahide TURAN Sinem TEKİN OKUMUŞ	KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ FEN FAKÜLTESİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ETKİNLİKLERİ	591
Ender ŞENER Prof.Dr.Murat DİKİLİTAŞ Doç.Dr.Sema KARAKAŞ Prof.Dr.Abdurrahim KOÇYİĞİT Prof.Dr.Şahabettin SELEK	COLLOIDAL SILVER: AN ABIOTIC NANOTECHNOLOGICAL ELICITOR IMPROVING SUNFLOWER PLANTS UNDER DROUGHT and HIGH TEMPERATURE	593
Ceyda İYİMUTAF Nazım ŞEKEROĞLU	RUBUS SPP. TÜRLERİNİN TIBBİ KULLANIMLARI VE EKOLOJİK ÖNEMİ	595
Fatih YAYLA Ebru BOZLAR Şeyda YILMAZ Elif KIZILDELİ Rabia CEYLAN Nisa Buket KAYA Ceyda İYİMUTAF	GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS FLORASI	597
Elif KIZILDELİ Nisa Buket KARA Ebru BOZLAR Fatih YAYLA	GAZİANTEP İLİ ÇAY BİTKİLERİ: ETNOBOTANİK KAYITLARA VE TÜRKİYE GENELİ KARŞILAŞTIRMASINA DAYALI BİR DEĞERLENDİRME	599
Rabia CEYLAN Ceyda İYİMUTAF Şeyda YILMAZ Fatih Yayla	GAZİANTEP İLİ BOYA BİTKİLERİ: TÜRKİYE FLORASIYLA KARŞILAŞTIRMALI SİSTEMATİK BİR DEĞERLENDİRME	601
Zehra TOZLU	Türkiye'de Göçmen Kuşların Göç Dinamikleri, Rotaları ve Ekolojik Önemi: İç Anadolu Sulak Alanları Üzerine Bir Değerlendirme	603
Gökçe KÜSMÜŞ Özlem ÇOLAK	THE EU EMISSIONS TRADING SYSTEM EXPOSURE AND AIRLINE DECARBONISATION STRATEGIES IN TÜRKİYE	605
Serap ŞAHİN YİĞİT Fatih YAYLA Muhittin DOĞAN	YAŞAM FORMU SPEKTRUMU VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİN ENTEGRASYONU İLE SULAK ALAN BOZULMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ: GAZİANTEP GÖLETLERİ ÖRNEĞİ	606
Leyla KILCI	Yapay Konukçu Olarak Çin Meşe ve Eri İpekböceği Yumurtalarında Trichogramma Türlerinin Gelişim Farklılıkları Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme	608

Fatma NALBANT Hatice AY	KENTLERDE YEŞİL VE DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN ETKİLEŞİMİ: EKOLOJİK-TEKNOLOJİK KENTLER	609
Sədaqət Musayeva	İNSAN EKOLOJİSİ: KURAMSAL YAKLAŞIMLAR VE GÜNCEL PERSPEKTİFLER	611
Çiğdem TOPLAR KORKMAZ Ebru Bozlar Banu GÖKÇEK	SÜRDÜRÜLEBİLİR TASARIM KRİTERLERİ BAĞLAMINDA YEŞİL MİMARİ: ENERJİ ETKİN YAPI ÜRETİM YAKLAŞIMLARININ MİMARİ ÖLÇEKTE DERLENMESİ	615
Sibel ÇUKADAR Çiğdem TOPLAR KORKMAZ Ayşegül ERDOĞAN Ebru BOZLAR	EKOLOJİK SANAT TEMELLİ DENEYİMLERİN MİMARLIK ÖĞRENCİLERİNDE EKOLOJİK DÜŞÜNCEYE ETKİSİ: BİYOMİMİKRİ ODAKLI BİR YAKLAŞIM	616
Aslı Elif KULOĞLU Ersin AKGÖLLÜ Dilan KUŞÇİ Nesih ARSLAN Gülbahar AKKURT Emrullah ERTEN	KIRSALDA ATIK İLAÇ BİLİNCİ OLUŞTURMA VE KAYNAĞINDA TOPLAMA	618
Yusuf Siraç DURAK Esra BAYAR	HOW DOES SEASONAL CHANGE AFFECT THE ECOPHYSIOLOGY OF FOUR MEDITERRANEAN TREE SPECIES?	620
Hümeyra NERGİZ UYAR Atilla DURMUŞ	NEMRUT KALDERASI (BİTLİS) RAMSAR ALANININ KUŞ GÖZLEMCİLİĞİ VE EKOTURİZM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	621
Atilla DURMUŞ Hümeyra NERGİZ UYAR	KARAYOLUNUN KUŞ TÜRLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN AHLAT SAZLIĞI (BİTLİS) ÖRNEĞİNDE İRDELENMESİ	623
Özgür Eren ZARİÇ Ömer LEKESİZ Abuzer ÇELEKLİ	INTEGRATING FUZZY LOGIC AND BIOLOGICAL CONDITION GRADIENT (BCG) FOR ECOLOGICAL WATER QUALITY ASSESSMENT	625
Yemliha ÇİRKİN Sezgin ARDA Hasret GÜNEŞ Muzaffer KIRPIK Ceren Ayşe BAYRAM Gökhan BÜYÜK	The Effect of Funneliformis mosseae, Trichoderma virens, and Nigella sativa L. Waste Applications on Plant Growth and Physiological Characteristics in Broccoli (Brassica oleracea L. var. italica) Under Greenhouse Conditions	626
Özgür Eren ZARİÇ Abuzer ÇELEKLİ	COUPLED HYDROGEOCHEMICAL AND MICROBIAL PROCESSES DRIVING POST-EARTHQUAKE GROUNDWATER TRANSFORMATIONS AND DRINKING WATER RISKS	627
İbrahim Halil DEMİR Mustafa AÇIKGÖZ Mahmut Murat ASLAN Elif NURHAK	PESTİSİTSİZ KOŞULLARDA YETİŞTİRİLEN BAĞ FİDANLARINDA Theretra alecto (L., 1758) (LEPIDOPTERA: SPHINGIDAE)'NUN BELİRLENMESİ VE AGROEKOSİSTEM BİYOÇEŞİTLİLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	628
Aysel ALKAN UÇKUN	Su Arıtımında Yeşil Kimyasal Yöntemler	630
Cevher İlhan CEVHERİ	Rejeneratif Pamuk Tarımında Biyoçeşitliliğin Önemi	632
Cevher İlhan CEVHERİ	Rejeneratif Pamuk Tarımında Ekim Nöbetinin Önemi	638
Sabiha HOROZCU İbrahim Halil KILIÇ	ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE ANTİBİYOTİK DİRENÇLİ BAKTERİLERİN KONTROLÜ İÇİN BAKTERİYOFAJ TEMELLİ BİYOKONTROL STRATEJİLERİ: ÇEVRESEL ANTİMİKROBİYAL DİRENÇ YAYILIMINA KARŞI YENİ NESİL	642

AKREPLERİN HABİTAT TERCİHLERİ

Mehmet Tolga KAPLAN[1], Adile AKPINAR [2], Mehmet YARAN[3]

[1]Biyolog, Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0004-1209-3117

[2]Doçent Doktor, Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-5815-1096

[3]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2151-5471

Özet

Akrep 450 milyon yıldan daha fazla bir süre önce evrimleşmiş antik canlılardır. Vücut yapıları prosoma, mesosoma ve metasomadan oluşur. Boyutları yaklaşık 130-220 mm arasında değişen eklem bacaklılardır. Genellikle nokturnal (gececil) canlılardır. Akrepler Antarktika ve Grönland hariç dünyanın geri kalan tüm alanlarında; yağmur ormanlarından çöllere, deniz seviyesinden yüksek dağlara kadar çeşitli habitatlara uyum sağlayabilmiş ve ekolojik toleransı yüksek canlılardır. Farklı habitatların sunmuş olduğu zorluklar karşısında gösterdikleri uyumlar sayesinde akreplerde farklı morfolojik yapılar ve farklı beslenme şekillerini ortaya koymuştur. Bulundukları alanlar açısından psammofilik (kumcul), litofilik (kayacıl), paleofilik (balçık\kil seven) ve kortikozol (kabukçul) akrepleridir. Beslenme farklılıkları açısından bakıldığında ise genellikle bulundukları habitatlarda besin zincirinin üst sıralarında yer alan avcı konumunda eklembacaklılardır. Genellikle böceklerle ve bazı örümcek türleriyle beslenirler ama bazı büyük akrep türleri küçük omurgalılardan fare ve kertenkele de tüketebilir ve kanibalizm de görülebilir. Akrepler farklı habitat isteklerine bağlı olarak farklı besin tercihleri olan zehirli türleri de içermektedir ve zehir yapıları ile de dikkat çeken omurgasızlardır. Zehirli türlerden elde edilen venomlar tıbbi açıdan güçlü bir ilaç kaynağı olarak kabul edilmektedir. Modern tıp uygulamalarında, kanser tedavilerinde ve daha çok antivenom için kullanılmaktadır.

Bu çalışma ile akreplerin habitat seçimlerinin ve çevresel şartlara karşı gösterdikleri adaptasyonların, canlının morfolojik yapısı, fizyolojik farklılıkları ve venom içerikleri üzerindeki etkisi güncel literatür verileri derlenerek hazırlanmıştır. Dolayısıyla çalışma, ekolojik verilerin disiplinler arası bir perspektifle değerlendirilmesini sağlayarak; gelecekteki sistematik taksonomi revizyonları ve biyoaktif molekül odaklı venom araştırmaları için kapsamlı bir teorik çerçeve ve yol gösterici bir rehber sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Akrepler, ekoloji, habitat.

ANALYTICAL ASSESSMENT OF MICROMYCETE FUNGAL COLONIZATION AND ITS ECOLOGICAL IMPACT ON CONSTRUCTION MATERIALS IN RESIDENTIAL BUILDINGS OF BAKU CITY

Balakhanova Gumru VASIF

Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan,

Orcid: 0000-0002-1709-1442

Abstract

This study aims to evaluate the colonization of construction materials in residential buildings of Baku City by micromycete fungi and its ecological impact on the urban ecosystem. Field and laboratory investigations involved the collection of nearly 300 surface and air samples, revealing higher colonization on gypsum, wallpaper, painted surfaces, and wood-based materials such as MDF. Dominant micromycete species included *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp., and *Alternaria* spp., while mycotoxin-producing *Stachybotrys* spp. and *Chaetomium* spp. were observed in zones with severe water damage. Cultural analyses indicated CFU/cm² values of 1.2×10^3–4.8×10^4 on gypsum, 8.5×10^2–3.1×10^4 on wood-based materials, and 4.2×10^2–1.7×10^3 on concrete and cement surfaces, with indoor air samples ranging from 450–2200 CFU/m³. Statistical analyses demonstrated a strong positive correlation between colonization and both humidity and water activity ($r = 0.78$–0.89, $p < 0.001$). Micromycete colonization contributes to the degradation of building materials, deterioration of indoor air quality, and reduction of urban biodiversity. The study emphasizes the importance of using sustainable construction materials, effective ventilation, moisture control, and early monitoring in urban planning. Future research should further investigate the long-term ecological effects of mycotoxins and the influence of climate change on colonization processes, thereby enhancing the urban resilience and ecological profile of Baku.

Keywords: micromycete fungi, colonization, construction materials, humidity, mycotoxin, indoor air quality, urban ecosystem, ecological profile

Introduction

Baku City, as the largest urban center in Azerbaijan, is also one of the major economic and industrial hubs of the South Caucasus region. In recent decades, accelerated urbanization processes and the construction of new residential complexes and infrastructure facilities have caused significant changes in the city's landscape and ecosystem structure. The intensification of urbanization is not limited to socio-economic development but also leads to various ecological problems in the urban environment. One such problem is the colonization of construction materials in residential and public buildings by micromycete fungi.

Micromycete fungi (microscopic filamentous fungi) are capable of growing on a variety of substrates and proliferate rapidly in humid and poorly ventilated environments. Colonization

of building materials by these organisms not only alters their physicochemical properties but also significantly affects the sanitary-hygienic condition of indoor environments and human health[1, p.175].

In modern urban ecosystems, the spread of micromycetes is closely linked to urbanization. Atmospheric pollution, changes in soil structure, increased anthropogenic waste, and altered microclimatic conditions in cities facilitate active circulation of fungal spores. Micromycetes are widespread heterotrophic organisms in soil, water, air, and various organic substrates and play a crucial role in the decomposition of organic matter. However, their intensified activity in urban environments can have negative consequences. In residential buildings, micromycete colonization leads to biological corrosion of construction materials, weakening of material structure, and deterioration of aesthetic qualities. This process, known as "biodegradation," reduces the durability and service life of construction materials.

The geographic and climatic characteristics of Baku create favorable conditions for the development of micromycete fungi. Located on the Caspian Sea coast, the city experiences high humidity levels during various periods of the year. High temperatures in summer combined with increased relative humidity enhance condensation processes on building materials, providing optimal conditions for spore germination. Studies indicate that relative humidity levels of 70–90% accelerate the growth of *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, and *Cladosporium* species. These species are the most commonly found microfungal groups in residential buildings and can form extensive colonies on wall coverings, gypsum, wood structures, and wallpaper[2, p.5].

The biological degradation of construction materials is primarily related to the presence of organic components. For instance, gypsum, cellulose-based wallpapers, wood materials, and certain polymer coatings serve as nutrient sources for micromycetes. Fungi colonize surfaces and internal micropores of these materials, breaking down organic matter through enzymatic activity. This results in decreased mechanical strength, surface discoloration, staining, and, in some cases, complete material degradation. Even inorganic materials such as concrete and brick can undergo chemical changes due to fungal metabolites. Organic acids and enzymes secreted by fungi alter surface structure and accelerate microcorrosion processes.

Construction technology and building maintenance also play a significant role in the spread of micromycetes in urban environments. Inadequate ventilation systems, poorly installed thermal insulation, and water leaks increase humidity, creating favorable conditions for rapid fungal growth. These processes are more intense in older buildings and improperly maintained structures. Additionally, non-compliance with hygienic standards during the storage of construction materials may allow spores to penetrate materials before use, resulting in fungal colonies appearing shortly after a building is occupied.

The impact of micromycete colonization extends beyond building materials to human health. Microscopic fungi release spores, mycotoxins, and microbial volatile organic compounds (MVOCs), which deteriorate indoor air quality. Exposure to these substances can trigger allergic reactions, bronchial asthma, dermatological issues, and respiratory diseases[3, p.18]. The risk is especially high for children, the elderly, and immunocompromised individuals. Global studies indicate that inhabitants of humid, mold-infested buildings have a higher probability of respiratory illnesses compared to other residential environments.

Ecologically, active micromycete colonization affects biological processes in urban ecosystems. Fungi, as primary decomposers, play a key role in the breakdown of organic matter, influencing nutrient cycling in soil and air. However, excessive proliferation in cities increases airborne spore concentrations, leading to aerosol contamination and disrupting the microbiological balance of urban ecosystems. Mycological studies conducted in Baku show

that species diversity of micromycetes in urban soils and construction materials exhibits a structure different from natural ecosystems, shaped under anthropogenic influence.

Recent research in urban ecology and building biology highlights that prevention of micromycete colonization requires the use of sustainable construction materials, effective ventilation systems, and humidity control. The application of antifungal-enriched materials and implementation of ecological monitoring programs can mitigate this problem. Moreover, microbiological monitoring in urban environments allows tracking of fungal spread dynamics and timely identification of potential risks[4, p.7].

Thus, micromycete colonization of construction materials in Baku's residential buildings represents a significant scientific issue in terms of urban ecology, building biology, and public health. Analytical assessment of this phenomenon, along with investigation of its causes and mechanisms, is essential for developing sustainable construction strategies. Such research not only protects building materials but also contributes to the ecological stability of urban ecosystems and the safeguarding of human health.

Materials and Methods

The study aimed to determine the colonization of construction materials in residential buildings of Baku City by micromycete fungi and to assess its impact on the city's ecological profile. Empirical field and laboratory investigations were conducted to achieve this objective. The research was carried out in residential buildings located in districts of Baku with varying levels of urbanization—namely, Nasimi, Narimanov, Yasamal, Khatai, Binagadi, and Surakhani. Selection of sampling sites considered factors such as building age, type of construction materials, indoor humidity conditions, ventilation system status, and presence of water leakage. The study primarily included multi-story residential buildings constructed or extensively renovated between 1990 and 2020, and field observations were performed across 120–150 buildings. From these buildings, approximately 300–350 samples were collected from interior surfaces and construction materials, including both visually colonized areas and areas without visible signs of fungal growth.

A variety of widely used construction and finishing materials were selected for analysis, including gypsum-based materials (drywall and plasterboard), concrete and cement-based surfaces, wood and timber materials (MDF, chipboard, and wooden panels), wallpaper and cellulose-based coatings, paints and varnishes, plastic and polymer materials, thermal insulation materials (mineral wool and polystyrene foam), and various flooring materials. These materials were chosen due to their extensive use in the urban construction sector and their potential as substrates for micromycete fungi, many of which retain moisture and contain organic components.

Sample collection followed international microbiological and ecological standards, employing several methods for gathering spores and hyphae from surfaces. The adhesive tape lift method was used to collect microscopic structures from surfaces, which were then prepared for microscopic analysis. Additionally, swab sampling with sterile cotton swabs was performed, collecting samples from a 25 cm^2 area (5 × 5 cm) of each surface. Bulk samples material fragments were taken from visibly damaged or colonized materials and placed into sterile containers for laboratory analysis. During sampling, the type of surface, humidity condition, temperature, and degree of colonization were recorded.

To determine micromycete spore concentrations in indoor air, both active and passive sampling methods were employed. Active air sampling was conducted using an Andersen-type impactor, with approximately 1 m^3 of air passed through onto microbiological growth media per sample. Passive sedimentation sampling involved exposing Petri dishes containing

growth media for 30–60 minutes, allowing airborne spores to settle on the surface. All collected samples were packaged under sterile conditions, stored at +4°C, and analyzed in the laboratory within 48 hours.

Microclimatic parameters of the indoor environment were also measured during sampling, including relative humidity, temperature, airflow, and surface moisture. Measurements were taken using digital hygrometers, thermometers, and moisture meters, providing data to assess conditions favorable for micromycete development.

In the laboratory, samples were analyzed using mycological methods, starting with microscopic examination. Samples were prepared using lactophenol cotton blue staining and observed under an optical microscope at 400–1000× magnification. Initial identification of micromycetes was based on spore morphology, conidiophore structures, and hyphal characteristics. Colonization intensity was assessed on a 0–3 scale, where 0 indicated no colonization, 1 weak colonization, 2 moderate colonization, and 3 intensive colonization.

For more precise identification, cultural analysis was conducted. Samples were inoculated onto Sabouraud Dextrose Agar (SDA), Malt Extract Agar (MEA), and Czapek-Dox Agar media. Inoculated samples were incubated at 25–28°C for 7–14 days, and colony counts were recorded as colony-forming units (CFU/cm² and CFU/m³). Isolated fungal colonies were taxonomically identified based on morphological and microscopic keys, with dominant species including *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp., *Alternaria* spp., *Stachybotrys* spp., and *Chaetomium* spp.

In selected cases, molecular methods were applied for precise fungal identification. Fungal DNA was extracted, and the ITS (Internal Transcribed Spacer) region was amplified via PCR. PCR products were sequenced and compared with international genetic databases for species-level identification. In some cases, qPCR analysis and DNA metabarcoding were performed, and these data were used to calculate the Environmental Relative Moldiness Index (ERMI).

To evaluate the metabolic activity of micromycetes, analyses of mycotoxins and volatile organic metabolites were conducted. Mycotoxins were detected using ELISA and LC-MS, specifically targeting toxic metabolites such as aflatoxins, ochratoxins, and trichothecenes. Volatile microbial compounds (MVOCs) were analyzed using Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS).

To assess the susceptibility of construction materials to micromycete colonization, physical and chemical properties were examined, including water activity (a_w), porosity, surface moisture, and organic matter content. These parameters were used to evaluate the growth potential of hydrophilic, mesophilic, and xerophilic fungal species.

Statistical analyses were performed using SPSS, R, and PAST software. Relationships among material type, humidity level, and fungal species were investigated using Analysis of Variance (ANOVA), correlation analysis, and Principal Component Analysis (PCA). Fungal biodiversity was assessed using Shannon and Simpson indices, while the ERMI index was applied to determine the impact of micromycete colonization on indoor environments.

Overall, the materials and methods employed allowed a comprehensive assessment of micromycete colonization intensity, species composition, and ecological risks in construction materials within residential buildings of Baku City. The results obtained are analyzed in the following section regarding the distribution characteristics of micromycetes in urban environments and their ecological consequences.

Results and Discussion

The results of the study indicate that micromycete colonization of construction materials in residential buildings of Baku City is widespread, and this process has significant negative effects not only on the sanitary-hygienic conditions of indoor environments but also on the overall ecological profile of the urban ecosystem. Mycological analysis of approximately 300 surface and air samples revealed that 68% of the samples exhibited various levels of micromycete colonization. Colonization intensity varied significantly depending on the type of construction material, as confirmed by the frequency and mean intensity values presented in Table 1.

Table 1.

Prevalence and intensity of micromycete colonization in different construction materials used in Baku City residential buildings

Construction material type	Number of samples (n)	Colonization frequency (%)	Colonization intensity (scale)
Gypsum-based materials (drywall, plasterboard)	68	78	2–3
Wallpaper and painted surfaces	54	65	2
Wood and MDF materials	47	59	2
Concrete and cement-based surfaces	61	42	1–2
Plastic and polymer coatings	32	34	1

As shown in Table 1, the highest frequency and intensity of colonization were observed on gypsum-based materials (drywall and plasterboard), with 78% of samples affected and an intensity rating of 2–3. This is attributed to the high moisture absorption capacity of these materials, the cellulose-based paper layer on their surface, and the presence of organic components serving as an ideal substrate for micromycetes. International studies confirm that gypsum-based materials are among the most susceptible substrates under humid conditions (RH > 80–85%), as they provide an organic food source and water activity ($a_w > 0.85$) often reaches this threshold. Baku's climatic conditions proximity to the Caspian Sea with high relative humidity in summer (average RH 70–85%) combined with elevated temperatures further accelerate this process, as gypsum materials retain moisture for prolonged periods, creating favorable microenvironments for fungal growth.

Colonization frequency on wallpaper and painted surfaces was 65%, which can be explained by the cellulose-based paper layer and accumulation of dust and organic residues beneath paint, providing a nutrient source for micromycetes. Wood and MDF materials (59%) exhibited high colonization due to their abundant organic components, such as cellulose and lignin; these materials degrade rapidly in humid zones, and fungal hyphae penetrate into the material, weakening its structure.

Although colonization on concrete and cement-based surfaces was relatively low (42%, intensity 1–2), it increased significantly in areas with high moisture and water damage. The dense structure and inorganic composition of concrete generally limit micromycete growth; however, dust accumulation, organic contamination, and thin organic films formed by condensation provide conditions conducive to fungal development. Plastic and polymer coatings exhibited the lowest colonization (34%), as these materials lack an organic nutrient source and do not absorb moisture, although surface dust or damage can occasionally permit fungal growth.

Dominant micromycete species included *Aspergillus* spp. (particularly *A. niger* and *A. versicolor*), *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp., and *Alternaria* spp., which are widely distributed in Baku's humid climate (Caspian Sea region) and proliferate rapidly in high-humidity environments. These species release mycotoxins (e.g., ochratoxin, aflatoxin) and microbial volatile organic compounds (MVOCs) that degrade indoor air quality and may trigger allergies, asthma, and other respiratory issues[5, p.185].

Ecologically, this colonization process disrupts urban ecosystem balance. Biological degradation of construction materials often necessitates repairs and replacements, increasing construction waste and contributing to soil and water contamination. Airborne dispersal of fungal spores reduces urban biodiversity, and the predominance of species such as *Aspergillus* and *Penicillium* disrupts the balance of other microorganisms. In a rapidly urbanizing city like Baku, this phenomenon can be considered a "hidden ecological pollutant," as its long-term impacts including increased material waste, indoor/outdoor air contamination, and public health risks pose a threat to urban sustainability.

The results indicate that material type, humidity level, and ventilation quality are the primary factors influencing colonization. Preventive measures should include humidity control (RH < 60%), effective ventilation, use of antifungal materials (e.g., mold-resistant gypsum), and regular monitoring. This study provides a scientific basis for promoting sustainable construction practices and ecological strategies in Baku[6, p.103].

Cultural and microscopic analyses revealed various micromycete genera in the residential buildings of Baku, and their frequency, dominance, and ecological characteristics are summarized in Table 2, which presents the taxonomic composition and occurrence frequency of dominant micromycete species.

Table 2.

Taxonomic composition and prevalence of dominant micromycete species identified in residential buildings of Baku City

Micromycete species	Detection frequency (%)	Ecological characteristics
Aspergillus spp.	34	Saprobiotic species rapidly developing in humid environments
Penicillium spp.	28	Species widely distributed on cellulose and organic substrates
Cladosporium spp.	21	Aero-mycobiota representatives dispersed via airborne spores
Alternaria spp.	12	Phytopathogenic and saprophytic species developing on organic materials
Stachybotrys spp.	5	Water-damage indicator species producing potent mycotoxins
Chaetomium spp.	4	Destructive species developing on cellulose-based materials

Based on the data presented in Table 2, the most widespread and dominant micromycete genera in the analyzed samples were *Aspergillus* and *Penicillium*. Specifically, *Aspergillus niger* and *Aspergillus versicolor* were recorded as the most frequently occurring species in high-humidity environments (RH > 70–85%). These species are highly adapted to Baku's Caspian Sea-influenced climate, characterized by a combination of elevated humidity and temperature, and proliferate rapidly on substrates such as gypsum-based materials, wallpaper, and painted surfaces. *Aspergillus* spp. were also found at high concentrations in indoor air samples, confirming their strong capability for aero-spore dissemination.

Penicillium chrysogenum and *Penicillium aurantiogriseum* were primarily associated with organic substrates, including wallpaper, MDF, chipboard, and wooden materials. These species rapidly degrade cellulose and other organic compounds, accelerating biological degradation of materials while simultaneously releasing volatile organic compounds (MVOCs), which can generate unpleasant odors indoors.

Cladosporium spp. (21%) were observed as representatives of aero-mycobiota dispersed via airborne spores and formed visible black-green colonies on light-colored wall and ceiling surfaces. This genus is also widespread in Baku's outdoor environment and enters buildings through ventilation systems or open windows and doors.

Alternaria spp. (12%) were identified as phytopathogenic and saprophytic species developing on organic materials, commonly found on wallpaper, wooden panels, and in humid zones. These species are considered significant contributors to allergenic responses.

The most critical biological risk was posed by *Stachybotrys* spp. (5%) and *Chaetomium* spp. (4%). Species such as *Stachybotrys chartarum* produce potent mycotoxins (e.g., satratoxins, trichothecenes) and dominate only in areas with severe water damage, prolonged moisture, or post-flood conditions. *Chaetomium globosum* is recognized as a destructor of cellulose-based materials (paper, wood, gypsum), leading to structural deterioration. Detection of these species indicates potential health risks indoors, including mycotoxin exposure, immune suppression, and respiratory impairment.

Molecular analyses (ITS region sequencing) confirmed that most identified species correspond to those commonly reported in international literature as frequent indoor pathogens or allergen producers. Baku's climatic conditions significantly facilitate the spread and intensive growth of these species, as the combination of high humidity and temperature provides optimal conditions for spore germination and hyphal development.

The results demonstrate that the micromycete flora varies depending on material type, humidity level, and extent of water damage. Universal saprophytes such as *Aspergillus* and *Penicillium* were found across nearly all substrates, whereas destructive species like *Stachybotrys* and *Chaetomium* were dominant only in severely damaged zones. This pattern necessitates differentiated approaches for indoor environment monitoring and preventive measures, including humidity control, effective ventilation, use of antifungal materials, and timely drying and repair of water-damaged areas[7, p. 1681].

Overall, the study objectively characterizes the species composition and distribution dynamics of micromycetes in Baku's residential buildings, providing a reliable basis for assessing ecological and health risks.

Cultural analysis results also showed that colony-forming units (CFUs) in various construction materials and indoor air environments differed significantly. These concentrations of micromycete spores across different substrates and air environments are summarized in Table 3.

Table 3.

Concentration of micromycete spores in various construction materials and indoor air environments

Environment studied	Minimum value	Maximum value	Unit of measurement
Gypsum-based materials	1.2×10^3	4.8×10^4	CFU/cm²
Wood and MDF materials	8.5×10^2	3.1×10^4	CFU/cm²
Concrete and cement surfaces	4.2×10^2	1.7×10^3	CFU/cm²
Indoor air environment	450	2200	CFU/m³

The results presented in Table 3 indicate that the highest micromycete concentrations were observed on gypsum-based materials, reaching a maximum of 4.8×10^4 CFU/cm². This high value is associated with the material's hygroscopic properties, the presence of a cellulose-based paper layer, and its water activity (a_w), which frequently reaches 0.90–0.95. International studies also report similar CFU levels (10^4–10^5 CFU/cm²) on gypsum materials under humid conditions (RH > 80–85%), as this substrate provides an ideal nutrient source for

species such as *Aspergillus versicolor* and *Penicillium chrysogenum*. In Baku's climate (Caspian Sea proximity; RH 70–85% during summer), this process is further intensified.

High concentrations were also recorded on wood and MDF materials (maximum 3.1×10^4 CFU/cm²), due to the abundance of lignin, cellulose, and other organic components that provide favorable growth conditions. Hyphal penetration into these materials leads to structural weakening and accelerated degradation. CFU values on concrete and cement surfaces were significantly lower (maximum 1.7×10^3 CFU/cm²), though colonization may occur via thin biological films formed by accumulated dust, organic residues, or condensation. Indoor air CFU concentrations ranged from 450 to 2200 CFU/m³, exceeding international hygienic standards (WHO, ACGIH, and European guidelines generally consider 500–1000 CFU/m³ as a safe limit). In buildings with poor ventilation, limited window opening, and maintained RH of 70–85%, air concentrations reached 1500–2200 CFU/m³, indicating active fungal growth and spore dissemination.

Statistical analyses (Pearson correlation and ANOVA) confirmed a strong positive correlation between micromycete colonization intensity/CFU counts and indoor relative humidity ($r = 0.78–0.89$, $p < 0.001$). In zones with RH above 65%, CFU levels increased significantly. When material water activity exceeded $a_w > 0.85$, spore concentrations on surfaces and in air sharply increased, marking a critical threshold for mesophilic and hydrophilic species (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*) growth.

The ecological consequences of micromycete colonization in urban ecosystems are multifaceted and long-term. Firstly, intensive fungal growth accelerates biological degradation of construction materials: decomposition of organic components (cellulose, lignin) reduces mechanical strength, causes micro-cracking, and shortens service life (e.g., gypsum and MDF may degrade 30–50% faster). This often necessitates repairs and renovations, increasing construction waste and risks of soil and water contamination.

Secondly, micromycetes release mycotoxins (ochratoxin A, trichothecenes, aflatoxins) and volatile microbial organic compounds (MVOCs, e.g., geosmin, 1-octen-3-ol), elevating biological aerosols and chemical pollutants in indoor air. ELISA and GC-MS analyses detected traces of ochratoxin A and trichothecenes in 18% of samples. Prolonged exposure to these compounds can induce allergies, bronchial asthma, immune suppression, neurotoxic effects, and oncogenic risks[8, p.10].

Thirdly, spores released from buildings into the urban atmosphere disrupt microbiological balance. Dominance of *Aspergillus* and *Penicillium* reduces fungal biodiversity Shannon index values were 25–40% lower compared to natural ecosystems which disrupts interactions with soil microorganisms and plant pathogens, weakening ecosystem resilience.

The study demonstrates that micromycete colonization in Baku's residential buildings is widespread, with high CFU concentrations that negatively affect material durability, urban ecological stability, biodiversity, and public health. Preventive measures are essential:

- Continuous monitoring of indoor humidity (maintaining RH < 60%);
- Installation of effective ventilation or central air-conditioning systems;
- Use of antifungal and moisture-resistant materials (e.g., mold-resistant gypsum, bio-based coatings);
- Timely prevention and remediation of water damage and condensation;
- Regular microbiological monitoring and assessment of indoor air quality.

Implementing these integrated measures in humid urban environments like Baku will minimize micromycete-related problems and enhance the ecological resilience of the city.

Conclusion

The conducted study confirms that micromycete colonization of construction materials in residential buildings of Baku is widespread and exerts significant negative effects on both the indoor environment and the ecological profile of the urban ecosystem. Analysis of nearly 300 surface and air samples revealed micromycete presence in 68% of cases, with the highest colonization intensity observed on gypsum (drywall), wallpaper, painted surfaces, and wood-based materials such as MDF and chipboard. Dominant fungal genera included *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.*, *Cladosporium spp.*, and *Alternaria spp.*, while mycotoxin-producing species *Stachybotrys spp.* and *Chaetomium spp.* were detected in areas with severe water damage.

Cultural analyses showed that mean CFU/cm² values ranged from 1.2×10^3 to 4.8×10^4 on gypsum materials, 8.5×10^2 to 3.1×10^4 on wood-based materials, and 4.2×10^2 to 1.7×10^3 on concrete and cement surfaces. In indoor air samples, concentrations ranged from 450 to 2200 CFU/m³, considerably exceeding international safety thresholds. Statistical analyses confirmed a strong positive correlation between colonization intensity and both relative humidity (RH > 65%) and water activity ($a_w > 0.85$) ($r = 0.78–0.89$, $p < 0.001$).

Ecologically, micromycete colonization has multiple adverse impacts. First, fungal growth accelerates material degradation, often necessitating repairs and replacements, resulting in increased waste generation and resource consumption. Second, the release of mycotoxins and volatile microbial organic compounds (MVOCs) contributes to indoor air pollution, raising the risk of asthma, allergies, and other respiratory diseases. Third, spore dissemination alters urban biodiversity, with dominant fungal species disrupting the biological balance of the city ecosystem.

Baku's specific climatic conditions high humidity combined with ventilation deficiencies in older buildings intensify micromycete colonization, particularly in MDF and other wood-based materials that retain moisture and provide favorable substrates for fungal growth. This phenomenon acts as a "hidden ecological pollutant" in the urban environment, with long-term impacts on material durability, indoor air quality, and biodiversity.

Consequently, controlling indoor humidity, ensuring effective ventilation, using antifungal and eco-friendly construction materials, and implementing regular monitoring and early detection strategies are essential to mitigate the negative effects of micromycete colonization in urban settings. Future research should focus on the long-term ecological impacts of mycotoxins, urban modeling, and the influence of climate change on these processes, thereby improving Baku's ecological profile and enhancing urban resilience.

REFERENCES

1. Al Hallak, M., Verdier, T., Bertron, A., Roques, C., & Bailly, J.-D. (2023). Fungal contamination of building materials and the aerosolization of particles and toxins in indoor air and their associated risks to health: A review. *Toxins, 15*(3), p.175. https://doi.org/10.3390/toxins15030175

2. Balakhanova G.V. Frequency of occurrence of allergenic fungi in modern residential buildings and comparative characteristics of the number composition//Annali d'Italia , Florence, Italy 2022 VOL. 2 №30, pp.5-7.

3. Balakhanova G.V. Generalızed characterıstıcs of the recorded fungı ın relatıon to the ınıtıal pH of the envıronment// German International Journal of Modern Science, 2022 №30 s.18-19

4. Balakhanova G.V. Evaluatıon of mushrooms exposed to anthropogenıc factors by soıl moısture propertıes// Norwegian Journal of development of the International Science 2022 №83 pp.7-9.

5. Chang, C. W., Hsu, L. C., & Lee, C. H. (2019). Indoor fungi in residential buildings: assessment of colonization on different building materials. *Building and Environment, 149*, pp.185–193. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.045

6. Nielsen, K. F. (2003). Mycotoxin production by indoor molds. *Fungal Genetics and Biology, 39*(2), 103–117. https://doi.org/10.1016/S1087-1845(03)00026-4

7. Omebeyinje, M. H., Adeluyi, A., Mitra, C., et al. (2021). Increased prevalence of indoor *Aspergillus* and *Penicillium* species is associated with indoor flooding and coastal proximity: A case study of 28 moldy buildings. *Environmental Science: Processes & Impacts, 23*(11), pp.1681–1687. https://doi.org/10.1039/d1em00202c

8. Raut, S., & Kalelkar, P. (2017). Assessment of mold growth on gypsum and MDF boards in residential environments. *Journal of Environmental Health Science and Engineering, 15*(1), pp.1–10. https://doi.org/10.1186/s40201-017-0305-8

ÇAT BARAJI (ÇELİKHAN) YÜZEN ADALARININ SON 25 YILLIK DEĞİŞİMİ VE VEJETASYON FLORASI

Murat TAK[1], Ahmet Zafer TEL[2], Musa GÜRBÜZ[3]

[1]Iğdır Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarım Bilimleri Anabilim Dalı, 76100 Iğdır, Türkiye Orcıd: 0000-0001-8929-0806

[2] Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, 76100 Iğdır, Türkiye Orcıd: 0000-0002 - 1204-3839

[3]Toki İlkokulu, Esentepe Mahallesi, 02040 Adıyaman, Türkiye

Giriş

Yüzen adaların, yapısı, oluşum şekli ve karakteri bakımından incelenmesi gereken yapılardır. Ülkemizde diğer bilimlerde olduğu gibi yüzen adalar hakkında çalışmalar geç başlamıştır. Yüzen adalar ile ilgili çalışmalar 25 öncesine dayanmaktadır. Bu alanda ilk çalışma Solhan (Turnalar) gölü ile başlamıştır. Yüzen adaları oluşturan yapıya torf adı verilmektedir. Torf yapısı itibari ile tek yıllıklı bitkiler, kamış ve sazlıklardan oluşmaktadır. Torf'un çiçekçilik, toprakta iyileştirme amacıyla kullanımı gittikçe artmaktadır. Ticari kullanımı nedeniyle bilinçsizce aşırı derecede tüketilmekte ve yüzen adaların yok olmasına yol açmaktadır.

Türkiye'de yapılan çalışmalarda 25 yıl öncesinde başlayan yüzen adaların ilk örneği Bingöl ilinin Solhan ilçesindeki yüzen adalar ile başlamıştır. (Bulut, Karapınar, & Özoğul, 2016). Dünyanın birçok yerinde bulunan bu yüzen adalar daha çok turizm amaçlı kullanılmaktadır. Güney Amerika'da Puno Bölgesindeki Titicaca gölü 3180 m yükseklikte olup ortalama 105 m derinliğe sahiptir (Mohammadi, ve diğerleri, 2020). Üzerinde birçok yüzen ada bulunan göl yöre halkı tarafından yoğun şekilde turizme konu edilmişlerdir. Dünyanın en derin doğal obruk gölü olan Zacaton Gölü (339m)(Meksika), (Gary, Sharp, & Boulder, 2006) de su altı gözlem ve araştırma meraklıları için bir turizm yol düzergahına dönüşmüştür. Burma'daki Ingle Gölü ise daha çok yöre kadınlarının sebze yetiştirdikleri yüzen bahçeler olarak kullanılmaktadır (Khwairakpam, Khosa, Gosain, & Nema, 2019)., (Zafer B, 2022)'de Küresel Isınmanın Çat Baraj Gölünde Yer Alan Yüzen Adalara Etkileri, adlı kongre sunumunda üzerinde tescillenmiş 110 adet yüzen ada bulunmuştur. Bu adaların boyutları 100 ile 1000 m² arasında değişirken toprak derinlikleri 3-5 m arasındadır. Tak'ın (2015)'teki Çelikhan Çat Barajı (Adıyaman) Havzası'nın Fitososyolojik Ve Fitoekolojik Özellikleri adlı çalışmasında, 34 familya, 115 cins ve 167 takson tespit etmiştir. Endemizm oranı % 12 olup 7 bitki birliği tespit etmiştir. (Tel ve Tak, 2021)'ın 'Çelikhan ve Yakın Çevresinin (Adıyaman/Türkiye) Flora ve Vejetasyonu Üzerine Araştırmalar' adlı çalışmalarında 79 familyaya ait 329 cins ve 867 takson tespit edilmiştir. değerlendirilen 190 örnek parsel ile yeni 19 bitki birliği tespit edilmiştir. Bu birliklerden 13 tanesi step ve alpin, 6 tanesi orman ve çalı, vejetasyon tipine aittir.

Çalışma alanımız olan Çelikhan Çat barajı'ndaki yüzen adalar Adıyaman ilinden 56 km, Çelikhan ilçesinden 4 km uzaktadır. Çat Barajı, ilk olarak Abdulharap gölü olarak anılmaktadır. 5 km² lik alana sahiptir. Adıyaman ili Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alırken, Çelikhan ilçesi Doğu Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Araştırma alanın kuzeyinde Yeşilyurt ilçesi yer alırken, güneyinde Çelikhan, doğusunda Sincik Batısında Doğanşehir ilçesi yer almaktadır (Şekil 1).

Şekil 1. Çat Barajı'nın yer bulduru haritası (Harita genel komutanlığı'ndan değiştirilerek, 2025)

Materyal ve Metod

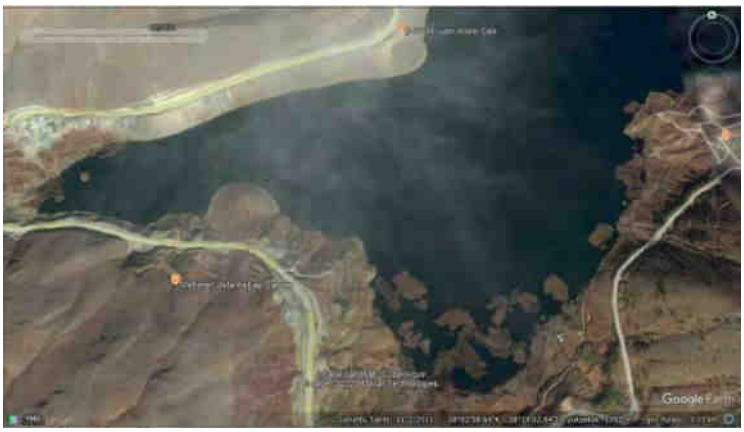
Bu çalışma yapılırken Google earth'ten son 25 yıllık haritalarından faydalanılarak, yüzen adaların, büyüklükleri, kapsadığı alanların durumu ve dönemsel hareketleri incelenmiştir, ayrıca en son olarak drone ile yüzen adaların durumu CBS' leri kullanılarak fotoğrafları çekilmiştir. Adaların en son durumu Drone ile kuş bakışı olarak çekildi. Çünkü uydular belli zamanlarda çalışma alanının üstünden geçiyor ve o zamana ait uydu fotoğrafları elde edilebiliyor. Uydu görüntü fotoğrafları alınırken ayrıca aynı mevsimsel periyottaki fotolar alınarak adaların durumları mevsimsel farklardan bağımsız olarak hareketleri ve durumları incelenmeye çalışıldı.

Yüzen adaların bitki örnekleri, bitkilerin optimum dönemi olan Mayıs ve Temmuz ayları arasında toplandı. Kurallara uygun olarak kurutulan örnekler Gazi üniversitesi Herbayumunda tşhis edildi ve Flora kitaplarından faydalanıldı, zorlanılan taksonlar için Prof. Dr. Ahmet Zafer TEL'den yardım alındı.

Drone çekimleri ve hava Fotoğrafları İlkokul öğretmeni ve Fotoğraf sanatçısı ve Drone kullanıcısı olan Musa GÜRBÜZ tarafından çekildi.

Bulgular

11/2/2011

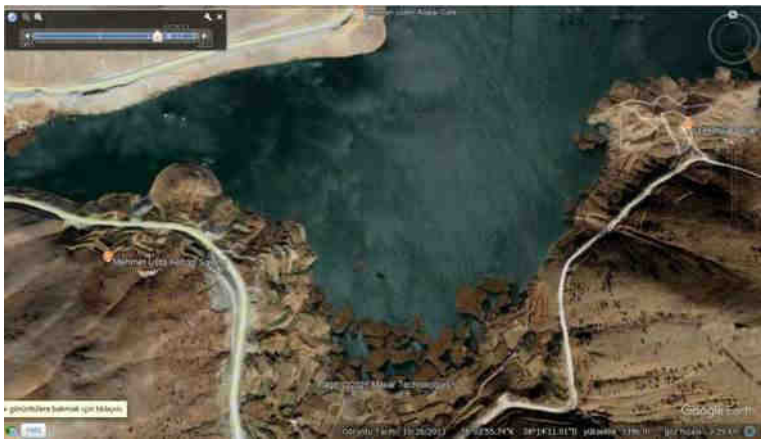


Şekil 2. Google earth uydu fotoğrafı (1/2/2011)

Şekil 2'deki uydu görüntüsü 1/2/2011 tarihinden alınmıştır. Çat barajı üzerindeki uydu görüntü taraması bu tarihte net olarak elde edildiği için alınmıştır. Alan taraması sırasında yüzen alanların diğer kısımları olumsuz hava şartları nedeniyle net olarak görüntülenememiştir.

Şekil 3.a. Google earth uydu fotoğrafı (26/10/2013)

26/10/2013 tarihinde elde edilen uydu fotoğraflardan şekil 3.a fotoğrafı 3.b ve 3.c'nin farklı alanlarının temsil eden genel bir fotoğraf olup, 26/10/2013 tarihindeki yüzen adaların konumunu büyüklüklerini, kapsadığı alanları göstermektedir.



Şekil 3.b. Google earth uydu fotoğrafı (26/10/2013)

Şekil 3.c. Google earth uydu fotoğrafı (26/10/2013)

Şekil 4.a. Google earth uydu fotoğrafı (9/5/2019)

9/5/2019 tarihinde elde edilen uydu fotoğraflardan şekil 4.a fotoğrafı 4.b ve 4.c'nin farklı alanlarının temsil eden genel bir fotoğraf olup, 9/5/2019 tarihindeki yüzen adaların konumunu büyüklüklerini, kapsadığı alanları göstermektedir.

Şekil 4.b. Google earth uydu fotoğrafı (9/5/2019)

Şekil 4.c. Google earth uydu fotoğrafı (9/5/2019)

Şekil 5.a Google earth uydu fotoğrafı (9/6/2022)

9/6/2022 tarihinde elde edilen uydu fotoğraflardan şekil 5.a fotoğrafı 5.b ve 5.c'nin farklı alanlarının temsil eden genel bir fotoğraf olup, 9/6/2022 tarihindeki yüzen adaların konumunu büyüklüklerini, kapsadığı alanları göstermektedir.

Şekil 5.b Google earth uydu fotoğrafı (9/6/2022) tarihli

Şekil 5.c Google earth uydu fotoğrafı (9/6/2022)

Şekil 6 Drone kuş bakışı fotoğrafı (7/7/2025)

7/7/2025 tarihinde Drone ile çekilen fotoğrafta google earth ile önceden elde edilen fotoğrafların bulunduğu alan uzaktan algılama yöntemi ile çekilmiştir (Şekil 6).

Yüzen Adalar vejetasyon florası

Tablo 1. Yüzen Adalar vejetasyon florası

Familya	**Tür**	**Fitocoğrafik bölge**
Poaceae	*Agrostis stolonifera*	Avr-Sibirya
	Phragmites australis	Avr-Sibirya
Onagraceae	*Epilobium hirsutum*	
Lamiaceae	*Mentha spicata*	
	Scutellaria galericulata	
Lythraceae	*Lythrum salicaria*	Avr-Sibirya
Datiscaceae	*Datisca cannabina*	
Primulacea	*Lysimachia vulgaris*	
Asteraceae	*Circium* sp	
Salicaceae	*Salix pseudonedemii*	Karadeniz
Convolvulaceae	*Convolvulus betinicifolius* subsp. *betinicifolius*	Akd. ve İr-Turan
Rubiaceae	*Galium spurium*	
Typhaceae	*Typha domingens*	
Hypericeae	*Hypericum scabrum*	İr-Turan
Alismataceae	*Alisma lanceolatum*	
Cyperaceae	*Carex pseudocyperus*	

Yüzen adalar üzerinde 14 familya, bu familyalara ait 16 cins ve 16 takson teşhis edilmiştir. Bu taksonların 3'ü Avr-Sibirya, 2'si iran, 1'i Akdeniz ve Karadeniz fitocoğrafik bölge elementidir (Tablo 1).

Sonuç ve Tartışma

Şekil 2'deki 1/2/2011 tarihindeki ilk uydu görüntüsü ile 7/7/2025 tarihinde Drone ile çekilen fotoğraf görüntüsü karşılaştırdığımızda yüzen adaların büyüklüğü, sayısı ve konum değişiklikleri net şekilde görülmektedir. 24 yıllık bu süreçte yüzen ada sayısında azalma olmuş, yüzen adalar barajın güney sahillerine doğru yaklaşmış, bunlardan çoğu karaya vurmuştur. Karaya vuran bu adalar zamanla yavaş yavaş içten yanmayla üzerindeki vejetasyon yapısı değişmiş ve adaların üzerindeki otlar kurumaya yüz tutmuştur.Yüzen adaların oluşum sürecine baktığımızda bu olayların meydana gelmesi doğaldır ama uzun bir süreç gerektirir. Buna karşın insan kaynaklı olarak müdahaleler bu süreçleri anormal hale getirmiştir. Bu müdahalelerin başlıcaları, bilinçsizce yerinden alınıp ticari olarak satılması, torf adı altında burdan alınan yapıların topraklarla karıştırılarak yeni yapısıyla satılması, üzerinde gereğinden fazla balıkçılık tesislerinin kurularak barajın yapısının değişmesi, baraj suyunun mevsimsel döngüye bağlı olarak seviyesinin artması ile azalmasının yanında, gölden sulama amacıyla çekilen suyun fazla olmasıyla su miktarının azalması gibi nedenler sayılabilir. Daha önceleri koruma amaçlı yüzen adalar sahile getirilerek sabitleştirmiş, su seviyesinin hızlı bir şekilde azalması ile bu adalar karada kalmış suların çekilmesiyle bu yapısını kaybetmiştir. Koruma çalışmaları yapılırken bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalı, konusunda uzman kişilerden multidisipliner bir çalışma yapılmalıdır. Bu adaları sabitlemenin ötesinde adından da anlaşıldığı gibi yüzen durumlarını koruyup, diğer etkenler üzerinde çalışma yapılmalıdır.

Yüzen adalar üzerinde 14 familya, bu familyalara ait 16 cins ve 16 takson teşhis edilmiştir. Bu taksonların 3'ü Avr-Sibirya, 2'si iran, 1'i Akdeniz ve Karadeniz fitocoğrafik bölge elementidir. Bu taksonların hiçbiri endemik değildir. Adaların üzerinde sazlık, kamış türleri hakimdir. Yüzen adaların temel yapısını turbalar oluşturur. Turbalar, sazlık ve kamışların yüzyıllar boyunca kuruyup çeşitli mekanik ve kimyasal olaylar sonucu üstüste birikmesi sonucu oluşur.

Kaynakça

Bulut, İ., Karapınar, B. Ç., & Özoğul, B. (2016). Karakuyu Gölü (Afyonkarahisar-Dinar) veYüzen Adalar. Uluslararası Coğrafya Sempozyumu (s. 366-378). Ankara: TÜCAUM.

Gary, M. O., Sharp, J. M., & Boulder, C. O. (2006). Volcanogenic karstification of Sistema Zacatón , Mexico. In: Harmon RS, Wicks CW (eds) Perspectives on karst meomorphology, hydrology and geochemistry. GSA Special Paper, 404.

Khwairakpam, E., Khosa, R., Gosain, A., & Nema, A. (2019). Monitoring and modelling water quality of Loktak Lake catchment. SN Applied Sciences, 1(5), 1-15.

Mohammadi, B., Guan, Y., Aghelpour, P., Emamgholizadeh., S., Pillco Zolá , R., & Zhang, D. (2020). Simulation of Titicaca Lake water level fluctuations using hybrid machine learning

Tak, M.,(2015) Çat barajı(Adıyaman) havzasının fitososyolojik ve fitoekolojik özellikleri, Yüksek lisans tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Tel, A. Z., & Tak, M. (2021). Çelikhan ve Yakın Çevresinin (Adıyaman/Türkiye) Flora ve Vejetasyonu Üzerine Araştırmalar. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(6), 1259-1282. https://doi.org/10.35414/akufemubid.946261

https://kure.harita.gov.tr/, Çelikhan çat barajı haritası.

NANO VE MİKROPLASTİKLERİN HÜCRESEL ETKİLEŞİMLERİ VE TOKSİKOLOJİK ETKİLERİ

Can DEMİREL[1], Amal ALNABHAN[2]

[1],[2]Gaziantep Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Gaziantep, Türkiye

Nano ve mikroplastikler çevresel ortamlarda yaygın olarak bulunan ve biyolojik sistemlerle etkileşime girebilen sentetik partiküller olarak insan sağlığı açısından giderek artan bir risk faktörü haline gelmiştir. Mikroplastikler genellikle 5 mm'den küçük plastik parçacıklar olarak tanımlanırken nanoplastikler çok daha küçük boyutları sayesinde biyolojik bariyerleri aşabilmekte ve hücresel düzeyde doğrudan etkileşim gösterebilmektedir. Bu çalışmada nano ve mikroplastiklerin hücresel etkileşim mekanizmalarının ve oluşturdukları toksikolojik etkilerin güncel bilimsel veriler doğrultusunda değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma, konuya ilişkin deneysel ve gözlemsel araştırmaların karşılaştırmalı olarak incelenmesine dayanan literatür temelli bir değerlendirme niteliğindedir. Elde edilen bulgular nanoplastiklerin biyolojik ortamlarda protein korona oluşturarak hücre zarına bağlanabildiğini ve endositoz mekanizmaları aracılığıyla hücre içine alınabildiğini göstermektedir. Hücre içine giren nanoplastiklerin mitokondri, endoplazmik retikulum ve lizozom gibi organellerde birikerek enerji metabolizmasının bozulmasına, protein katlanma süreçlerinin etkilenmesine ve otofaji mekanizmalarında değişikliklere yol açabildiği belirlenmiştir. Ayrıca reaktif oksijen türlerinin artışı ile ilişkili oksidatif stres oluşumu lipid peroksidasyonu, DNA hasarı ve inflamatuvar yanıtların gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Mikroplastiklerin ise hücre içine daha sınırlı ölçüde girmekle birlikte yüzeylerinde çeşitli toksik kimyasalları adsorplayarak hücresel toksisiteyi dolaylı yollarla artırabildiği görülmektedir. Sonuç olarak nano ve mikroplastiklerin hücresel düzeyde çok yönlü biyolojik etkiler oluşturabileceği ve uzun süreli maruziyet koşullarında insan sağlığı açısından önemli bir risk faktörü olabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler:

Nanoplastik, mikroplastik, hücresel toksisite, oksidatif stres, protein korona.

Giriş:

Plastik kirliliği günümüzde küresel çevre sorunlarının en önemli bileşenlerinden birihaline gelmiştir ve plastik materyallerin çevresel süreçler sonucunda daha küçük boyutlara parçalanması mikroplastik ve nanoplastik oluşumuna neden olmaktadır (Yurtsever, 2018). Mikroplastikler genellikle 5 mm'den küçük plastik parçacıklar olarak tanımlanırken nanoplastikler ise nanometre ölçeğinde olup biyolojik sistemlerle çok daha kolay etkileşime girebilen partiküller olarak kabul edilmektedir (Koelmans et al., 2016). Bu küçük plastik parçacıkları çevrede yaygın olarak bulunmakta ve su, toprak, hava ve besin zinciri yoluyla canlı organizmalara ulaşabilmektedir (Yurtsever, 2018).

Çevresel ortamlarda bulunan bu partiküller canlı organizmalar tarafından yutulabildiği gibi solunum veya besin yoluyla insan vücuduna da girebilmektedir (Lusher et al., 2017). Boyutlarının küçük olması nedeniyle özellikle nanoplastikler biyolojik bariyerleri aşarak hücresel sistemlerle doğrudan etkileşime girebilme potansiyeline sahiptir (Al-Sid-Cheikh et al., 2018).

Nanoplastikler biyolojik ortamlarla karşılaştıklarında yüzeylerinde proteinler ve diğer biyomoleküllerden oluşan bir tabaka oluşturarak protein korona adı verilen bir yapı meydana getirmektedir (Francia et al., 2019). Protein korona oluşumu nanoplastiklerin hücresel sistemler tarafından algılanma biçimini değiştirmekte ve hücre ile partikül arasındaki etkileşimin temel belirleyicilerinden biri olmaktadır (Kihara et al., 2019). Bu yapı parçacığın yüzey özelliklerini değiştirerek hücre zarına bağlanma ve hücre içine alınma süreçlerini doğrudan etkileyebilmektedir (Kihara et al., 2020). Hücreler protein koronayla kaplanmış nanoplastikleri biyolojik kompleksler olarak algıladığı için bu partiküller hücresel mekanizmalar aracılığıyla daha kolay internalize edilebilmektedir (Francia et al., 2019)

Bu çalışma, nanoplastik ve mikroplastiklerin hücresel etkileşimleri ile toksikolojik etkilerini ele alan güncel bilimsel çalışmaların değerlendirilmesine dayanmaktadır.

Genel bilgiler

Nanoplastiklerin hücre içine girişi çoğunlukla endositoz mekanizmaları aracılığıyla gerçekleşmektedir ve bu süreçte hücre zarı aktif bir rol oynamaktadır (Dos Santos et al., 2011). Klatrin aracılı endositoz ve caveolae aracılı endositoz gibi mekanizmalar nanoplastiklerin hücre içine taşınmasını sağlayan temel hücresel süreçler arasında yer almaktadır (Francia et al., 2019). Hücre içine alınan nanoplastikler sitoplazma içerisinde farklı organellere yönelerek çeşitli hücresel fonksiyonları etkileyebilmektedir (Lim et al., 2019). Bu süreç sonucunda hücresel metabolizma, enerji üretimi ve sinyal iletim yolları gibi kritik biyolojik mekanizmalar zarar görebilmektedir (Lim et al., 2019).

Nanoplastiklerin hücresel toksisite mekanizmalarından biri oksidatif stres oluşumudur ve bu süreç reaktif oksijen türlerinin artışı ile karakterizedir (Lim et al., 2019). Artan oksidatif stres hücre zarındaki lipidlerin oksidasyonuna, DNA hasarına ve protein fonksiyonlarının bozulmasına neden olabilmektedir (Anbumani & Kakkar, 2018). Bu durum hücresel homeostazın bozulmasına ve inflamatuvar yanıtların tetiklenmesine yol açabilmektedir (Anbumani & Kakkar, 2018). Hücresel stres yanıtlarının uzun süre devam etmesidurumunda hücre ölüm mekanizmaları aktive olabilmektedir (Wang et al., 2018).

Nanoplastiklerin hücresel organeller üzerinde de önemli etkileri bulunmaktadır ve bu etkiler özellikle mitokondri, endoplazmik retikulum ve lizozomlar üzerinde yoğunlaşmaktadır (Wang et al., 2018). Mitokondriler hücresel enerji üretiminde merkezi rol oynayan organellerdir ve nanoplastiklerin mitokondriye ulaşması enerji metabolizmasının bozulmasına neden olabilmektedir (Lim et al., 2019). Elektron transport zincirinin zarar görmesi ATP üretiminin azalmasına ve hücresel enerji yetersizliğine yol açabilmektedir (Lim et al., 2019). Enerji metabolizmasının bozulması hücresel fonksiyonların aksamasına ve apoptoz mekanizmalarının aktive olmasına neden olabilmektedir (Wang et al., 2018).

Endoplazmik retikulum hücre içinde protein sentezi ve katlanması gibi önemli süreçleridüzenleyen bir organeldir ve nanoplastik maruziyeti bu organelde stres oluşumuna yol açabilmektedir (Qu et al., 2019). Yanlış katlanmış proteinlerin birikmesi endoplazmik retikulum stresini artırarak hücresel savunma mekanizmalarının devreye girmesine neden olabilmektedir (Qu et al., 2019). Bu süreç uzun süre devam ettiğinde hücre ölüm mekanizmaları aktive olabilmektedir (Qu et al., 2019).

Nanoplastiklerin hücre içinde en sık biriktiği organellerden biri lizozomlardır ve bu birikim lizozomal fonksiyonların bozulmasına neden olabilmektedir (Wang et al., 2018). Lizozomlarda meydana gelen bu birikim otofaji süreçlerini etkileyerek hücresel atıkların

uzaklaştırılmasını zorlaştırabilmektedir (Song et al., 2015). Lizozomal membran stabilitesinin bozulması hücresel toksisiteyi artırarak hücre ölümüne yol açabilmektedir (Wang et al., 2018)

Mikroplastikler ise nanoplastiklere kıyasla hücre içine daha sınırlı ölçüde girebilmekle birlikte hücresel toksisiteyi dolaylı yollarla artırabilmektedir (Yurtsever, 2018). Mikroplastiklerin lipofilik yüzeyleri ağır metaller ve kalıcı organik kirleticiler gibi toksik kimyasalları adsorplayarak canlı dokularına taşıyabilmektedir (Koelmans et al., 2016). Bu kimyasallar hücresel ortama ulaştığında oksidatif stres, inflamasyon ve metabolik bozukluklar gibi çeşitli biyolojik etkiler oluşturabilmektedir (Anbumani & Kakkar, 2018). Bu nedenle mikroplastikler çevrede yalnızca fiziksel kirleticiler değil aynı zamanda toksik kimyasalların taşınmasında rol oynayan biyolojik vektörler olarak değerlendirilmektedir (Koelmans et al., 2016).

Sonuçlar ve Tartışma

Nano ve mikroplastikler günümüzde yalnızca çevresel kirliliğin bir göstergesi olarak değil, aynı zamanda biyolojik sistemler üzerinde önemli etkiler oluşturabilen potansiyel toksik ajanlar olarak değerlendirilmektedir (Yurtsever, 2018). Plastik materyallerin çevresel süreçler sonucunda daha küçük boyutlara ayrılması, bu parçacıkların canlı organizmalarla etkileşim potansiyelini önemli ölçüde artırmaktadır (Koelmans et al., 2016).Özellikle nanoplastikler, boyutlarının küçük olması nedeniyle biyolojik bariyerleriaşabilmekte ve hücresel sistemlerle doğrudan etkileşime girebilmektedir (Al-Sid-Cheikh et al., 2018). Bu durum nanoplastiklerin yalnızca çevresel değil aynı zamanda hücresel düzeyde de önemli bir risk faktörü olmasına yol açmaktadır (Lim et al., 2019).

Nanoplastiklerin hücresel etkileşimlerinin ilk aşaması biyolojik ortamda protein korona oluşumu ile başlamaktadır (Francia et al., 2019). Protein korona nanoplastiklerin yüzey özelliklerini değiştirerek hücre ile partikül arasındaki etkileşimin şeklini belirlemektedir (Kihara et al., 2019). Bu yapı hücresel internalizasyon süreçlerini kolaylaştırarak nanoplastiklerin hücre içine alınmasına katkı sağlamaktadır (Francia et al., 2019). Hücre içine giren nanoplastikler sitoplazmada farklı organellere yönelerek çeşitli biyokimyasal süreçleri etkileyebilmektedir (Lim et al., 2019).

Nanoplastiklerin hücresel organeller üzerindeki etkileri de toksisite açısından büyük önem taşımaktadır (Wang et al., 2018). Mitokondriler üzerinde meydana gelen hasar enerji üretim süreçlerini etkileyerek hücresel fonksiyonların bozulmasına yol açabilmektedir (Lim et al., 2019). Endoplazmik retikulumda oluşan stres protein katlanma mekanizmalarını etkileyerek hücresel savunma sistemlerinin devreye girmesine neden olabilmektedir (Qu et al., 2019). Lizozomlarda meydana gelen nanoplastik birikimi ise otofaji süreçlerinin bozulmasına ve hücresel atıkların uzaklaştırılmasının zorlaşmasına yol açabilmektedir (Song et al., 2015).

Mikroplastikler ise nanoplastiklere kıyasla hücresel düzeyde daha dolaylı etkiler oluşturmaktadır (Yurtsever, 2018). Mikroplastiklerin yüzey özellikleri çeşitli toksik kimyasalları adsorplayarak canlı organizmalara taşımasına olanak sağlamaktadır (Koelmans et al., 2016). Bu kimyasallar hücresel sistemlere ulaştığında oksidatif stres ve inflamatuvar yanıtların artmasına neden olabilmektedir (Anbumani & Kakkar, 2018). Dolayısıyla mikroplastikler çevrede yalnızca fiziksel kirleticiler olarak değil aynı zamanda toksik kimyasalların biyolojik sistemlere taşınmasında rol oynayan vektörler olarak değerlendirilmektedir (Koelmans et al., 2016).

Sonuç olarak nano ve mikroplastiklerin hücresel etkileşimleri ve toksikolojik etkileri çok yönlü ve karmaşık mekanizmalar içermektedir (Lim et al., 2019). Bu partiküllerin hücre zarından başlayarak hücresel organellere kadar uzanan etkileri, plastik kirliliğinin yalnızca çevresel değil aynı zamanda biyomedikal bir sorun olduğunu göstermektedir (Yurtsever, 2018). Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmaların nano ve mikroplastiklerin hücresel etkileşimlerini daha ayrıntılı şekilde incelemesi ve bu partiküllerin insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerini ortaya koyması büyük önem taşımaktadır (Koelmans et al., 2016).

Kaynaklar

Al-Sid-Cheikh, M., Rowland, S. J., Stevenson, K., Rouleau, C., Henry, T. B., & Thompson, R. C. (2018). Uptake, whole-body distribution and depuration of nanoplastics in aquatic organisms at environmentally realistic concentrations. Environmental Science & Technology, 52(24), 14480-14486.

Anbumani, S., & Kakkar, P. (2018). Ecotoxicological effects of microplastics on biota: A review. Environmental Science and Pollution Research, 25, 14373-14396.

Bergami, E., Pugnalini, S., Vannuccini, M. L., Manfra, L., Faleri, C., Savorelli, F., & Dawson, K. A. (2019). Long-term toxicity of surface-charged polystyrene nanoplastics to marine organisms. Polar Biology, 42, 743-757.

Carney Almroth, B. M., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H., Johansson, M., & Persson, N. (2018). Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. Environmental Science and Pollution Research, 25, 1191-1199.

Dos Santos, T., Varela, J., Lynch, I., Salvati, A., & Dawson, K. A. (2011). Effects of transport inhibitors on the cellular uptake of nanoparticles. Small, 7(23), 3341-3349.

Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2016). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. Environmental Pollution, 221, 453-458.

Francia, V., Yang, K., Deville, S., Reker-Smit, C., Nelissen, I., & Salvati, A. (2019). Corona composition can affect the mechanisms cells use to internalize nanoparticles. ACS Nano, 13(10), 11107-11121.

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, 3(7), e1700782.

Hollóczki, O., & Gehrke, S. (2020). Can nanoplastics alter cell membrane structure and function? ChemPhysChem, 21, 9-12.

Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Larat, V., Galloway, T. S., & Salamatinia, B. (2017).

The presence of microplastics in commercial salts from different countries. Scientific Reports, 7, 46173.

Kihara, S., Zhang, Y., Hu, Y., Mao, Q., Tang, Y., Miyake, J., & Chen, C. (2019). Effect of nanoparticle-protein interactions on nanoplastic behavior in biological systems. Bioconjugate Chemistry, 30(4), 1067-1076.

Kihara, S., Hu, Y., Mao, Q., Tang, Y., Miyake, J., & Chen, C. (2020). Hard and soft protein corona structures around nanoplastics. Biointerphases, 15, 051002.

Koelmans, A. A., Bakir, A., Burton, G. A., & Janssen, C. R. (2016). Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment. Environmental Science & Technology, 50, 3315-3326.

Lim, S. L., Ng, C. T., Zou, L., Lu, Y., & Bay, B. H. (2019). Targeted metabolomics reveals nanoplastic-induced cellular stress in human lung epithelial cells. Nanotoxicology, 13(8), 1117-1132.

Lusher, A. L., Hollman, P. C. H., & Mendoza-Hill, J. J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper.

Qu, M., Xu, K., Li, Y., Wong, G., Wang, D., & Wang, Y. (2019). Nanoplastic exposure activates MAPK signaling and induces endoplasmic reticulum stress. Advanced Biosystems, 3, e1800325.

Song, W., Popp, L., & Teuscher, N. (2015). Autophagy responses induced by nanoplastic exposure in mammalian cells. Journal of Nanobiotechnology, 13, 87.

Wang, F. J., Salvati, A., & Boya, P. (2018). Lysosome-dependent cell death pathways triggered by nanoparticles. Open Biology, 8, 170271.

Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic pollution in table salts from China. Environmental Science & Technology, 49, 13622-13627.

Yurtsever, M. (2018). Küresel plastik kirliliği, nano-mikroplastik tehlikesi ve sürdürülebilirlik. Çevre Bilim ve Teknoloji, 171-190.

ADIYAMAN İLİNDE TIBBİ ATIK YÖNETİMİNDE DİJİTAL İZLENEBİLİRLİK SİSTEMLERİNİN OPERASYONEL DAYANIKLILIK VE VERİMLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ (2020–2025)

THE EFFECTS OF DIGITAL TRACEABILITY SYSTEMS ON OPERATIONAL RESILIENCE AND EFFICIENCY IN MEDICAL WASTE MANAGEMENT IN ADIYAMAN PROVINCE (2020–2025)

Defne SULHAN[1], Yavuz DEMİRCİ[2]

[1] Adıyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri, Adıyaman, Türkiye, Orcıd: 0009-0002-8865-1344
[2] Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Bilimleri, Adıyaman, Türkiye, Orcıd: 0000-0003-0835-9811

Özet

Sağlık hizmetlerinin yaygınlaşması ve sağlık tesislerinin sayısındaki artış, tıbbi atık üretiminde küresel ölçekte önemli bir artışa neden olmaktadır. Enfeksiyöz, kesici-delici, kimyasal ve farmasötik özellikler taşıyan tıbbi atıkların uygun şekilde yönetilmemesi; çevresel kirlilik, enfeksiyon yayılımı ve halk sağlığı açısından çeşitli riskler oluşturabilmektedir. Bu nedenle tıbbi atıkların kaynağından bertarafına kadar olan süreçte etkin izleme ve kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda atık yönetim süreçlerinde dijital izlenebilirlik sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmakta ve veri temelli yönetim yaklaşımlarını desteklemektedir.

Bu çalışmada Adıyaman iline ait 2020–2025 dönemine ilişkin resmi tıbbi atık verileri incelenmiş ve dijital izlenebilirlik sistemlerinin operasyonel verimlilik ile kriz dayanıklılığı üzerindeki rolü değerlendirilmiştir. Çalışmada yıllara göre oluşan tıbbi atık miktarları analiz edilerek pandemi ve afet gibi olağanüstü durumların atık üretim miktarlarına etkileri ortaya konmuştur. Bulgular, COVID-19 pandemisinin etkisiyle 2021 yılında tıbbi atık miktarında yaklaşık %25 oranında artış meydana geldiğini göstermektedir. Buna karşılık 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında sağlık altyapısında yaşanan aksaklıklar nedeniyle toplam tıbbi atık miktarında yaklaşık %66 oranında belirgin bir azalma gözlenmiştir. 2024 ve 2025 yıllarında ise atık üretim miktarlarının yeniden dengelenme sürecine girdiği görülmektedir.

Mobil Atık Takip Sistemi (MOTAT) ve Ulaştırma Elektronik Takip ve Denetim Sistemi (U-ETDS) gibi dijital izlenebilirlik uygulamaları kapsamında yapılan değerlendirmeler, bu sistemlerin atık yönetim süreçlerinde veri şeffaflığını artırdığını ve özellikle olağanüstü durumlarda veri sürekliliğinin sağlanmasına katkı sunduğunu göstermektedir. Adıyaman ili örneği, dijital izlenebilirlik sistemlerinin yalnızca idari kolaylık sağlamadığını, aynı zamanda kriz dönemlerinde operasyonel kontrolü destekleyen stratejik bir yönetim aracı olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dijital İzlenebilirlik; Tıbbi Atık Yönetimi; MOTAT; U-ETDS; Kriz Dayanıklılığı.

Abstract

The expansion of healthcare services and the increasing number of medical facilities have led to a significant rise in the generation of medical waste worldwide. Medical waste, including infectious, sharps, chemical, and pharmaceutical components, may pose serious risks to environmental and public health if not properly managed. Therefore, the development of effective monitoring and control mechanisms throughout the lifecycle of medical waste—from generation to final disposal—has become increasingly important. In recent years, the use of digital traceability systems in waste management processes has expanded and supported data-driven management approaches.

This study examines official medical waste data from Adıyaman Province covering the period between 2020 and 2025 and evaluates the role of digital traceability systems in operational efficiency and crisis resilience. The annual changes in medical waste generation were analyzed to determine the effects of extraordinary events such as pandemics and natural disasters. The findings indicate that medical waste generation increased by approximately 25% in 2021 due to the impact of the COVID-19 pandemic. In contrast, a significant decrease of nearly 66% was observed in 2023 following the February 6 Kahramanmaraş-centered earthquakes, mainly due to disruptions in healthcare infrastructure. The data also show that medical waste generation began to stabilize again in 2024 and 2025.

Evaluations conducted within the framework of digital monitoring systems such as the Mobile Waste Tracking System (MOTAT) and the Electronic Transportation Tracking and Monitoring System (U-ETDS) indicate that these systems improve transparency in waste management processes and ensure data continuity, particularly during extraordinary conditions. The case of Adıyaman demonstrates that digital traceability systems not only facilitate administrative processes but also function as strategic management tools that support operational control during crisis periods.

Keywords: Medical waste management, digital traceability, MOTAT, U-ETDS, crisis resilience

Giriş

Günümüzde sağlık hizmetlerinin yaygınlaşması ve hizmet kapasitesinin artmasıyla birlikte, bu faaliyetlerin yan ürünü olan tıbbi atık miktarlarında küresel ölçekte belirgin bir artış gözlenmektedir. Dünya Sağlık Örgütü, sağlık hizmetlerinden kaynaklanan atıkların uygun şekilde yönetilmemesi durumunda enfeksiyon yayılımı ve çevresel risklerin artabileceğini belirtmektedir[1]. Enfeksiyöz, kesici-delici, kimyasal ve farmasötik özellikler taşıyan sağlık hizmeti atıkları; uygun şekilde ayrıştırılmadığında ve bertaraf edilmediğinde enfeksiyon riski, yaralanmalar ve çevresel kontaminasyon gibi ciddi sonuçlara yol açabilmektedir [1-3]. Bu nedenle etkin ve güvenli bir tıbbi atık yönetim sistemi, sürdürülebilir sağlık hizmetlerinin ayrılmaz bir parçasıdır.

Son yıllarda sağlık hizmeti atıklarının yönetiminde dijital dönüşüm kavramı ön plana çıkmıştır. Özellikle Endüstri 4.0 ve Waste 4.0 yaklaşımları kapsamında, IoT tabanlı izleme sistemleri, otomatik veri toplama altyapıları ve dijital takip mekanizmaları sağlık atıklarının yönetim süreçlerini yeniden şekillendirmektedir [4-6]. Sharma ve ark. (2024), dijitalleşmenin sağlık hizmeti atık yönetiminde operasyonel verimlilik, izlenebilirlik ve karar destek mekanizmaları açısından önemli katkılar sunduğunu vurgulamaktadır [5]. Bu bağlamda, dijital izlenebilirlik sistemlerinin kriz dönemlerindeki operasyonel çıktılar üzerindeki etkisini yerel veri setleri üzerinden değerlendiren çalışmaların artırılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Türkiye'de tıbbi atık yönetimi 22 Temmuz 2005 tarihli Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile düzenlenmiş olup; atıkların sınıflandırılması, toplanması, taşınması, geçici depolanması, sterilizasyonu ve bertarafına ilişkin süreçler yasal çerçevede tanımlanmıştır [2].

Son yıllarda devreye alınan MoTAT (Mobil Atık Takip Sistemi) ve U-ETDS (Ulaştırma Elektronik Takip ve Denetim Sistemi) uygulamaları ile atık taşıma ve izleme süreçlerinde çevrimiçi veri takibi ve dijital izlenebilirlik altyapısı oluşturulmuştur [7-8]. MoTAT, üretildiği noktadan bertaraf veya geri kazanım tesisine kadar tehlikeli atıkların anlık izlenmesini ve çevresel risklerin azaltılmasını sağlarken [7], U-ETDS ise taşımacılık süreçlerinde yük ve taşıma verilerinin elektronik ortamda izlenmesini ve denetimini mümkün kılarak dijital takip mekanizmasının etkinliğini artırmaktadır [8]. Ancak bu sistemlerin özellikle olağanüstü durumlarda (pandemi, deprem vb.) operasyonel dayanıklılık ve kriz yönetimi üzerindeki etkileri henüz yeterince analiz edilmemiştir.

COVID-19 pandemisi sürecinde küresel ölçekte tıbbi atık miktarlarında belirgin artış eğilimi yaşanmış; özellikle kişisel koruyucu ekipman (KKD) kullanımındaki artış atık yönetim sistemleri üzerinde ek yük oluşturmuştur [1]. Benzer şekilde, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler, bölgesel sağlık altyapısının sürekliliğini ve atık yönetim sistemlerinin esneklik kapasitesini test etmiştir. Bu tür kriz koşulları, veri sürekliliğinin ve dijital izlenebilirliğin stratejik önemini daha görünür hale getirmiştir.

Bu çalışma, Adıyaman ili örneğinde 2020–2025 dönemine ait tıbbi atık verilerini analiz ederek, dijital izlenebilirlik sistemlerinin operasyonel verimlilik ve kriz dayanıklılığı üzerindeki katkısını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma doğrudan bir Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) uygulaması içermemekle birlikte, dijital veri altyapısının çevresel performans göstergelerinin geliştirilmesine sağlayabileceği potansiyel katkıyı tartışmaktadır. Bu yönüyle çalışma, dijitalleşmenin kriz dönemlerinde tıbbi atık yönetimindeki rolünü nicel veriler üzerinden inceleyerek literatüre yerel ölçekte özgün bir katkı sunmaktadır.

Materyal ve Metot

Çalışmada, Adıyaman ilinde tıbbi atık yönetiminin mevcut durumunu ortaya koymak amacıyla 2020–2025 dönemine ait resmi tıbbi atık verileri analiz edilmiştir. Değerlendirme; yıllık toplam atık miktarları, ilçe bazlı dağılımlar ve olağanüstü dönemlerin (pandemi ve deprem) etkileri dikkate alınmış olup, her yıl için bütüncül ve karşılaştırmalı bir değerlendirme sunulmuştur.

Tablo 1. Adıyaman *İli 2020-2025 Dönemi Tıbbi Atık Miktarları*

2020-2025 Yılı Adıyaman İli Tıbbi Atık Miktarları (kg)	
Yıl	Toplam Atık Miktarı (kg)
2020	842.814
2021	1.056.833
2022	770.521
2023	357.177
2024	537.871
2025	535.060

2020–2025 dönemine ait toplam tıbbi atık miktarları incelendiğinde, doğrusal bir artış ya da azalış eğilimi yerine, kriz koşullarına duyarlı dalgalı bir yapı gözlenmektedir.

2021 yılında toplam tıbbi atık miktarı 1.056.833 kg'a ulaşmış olup, 2020 yılına göre yaklaşık %25,4 oranında artış göstermiştir. Bu artışın temel nedeni COVID-19 pandemisi sürecinde:

- Enfeksiyöz atık miktarındaki artış,
- Kişisel koruyucu ekipman (KKD) kullanımındaki yükselme,
- Sağlık hizmeti başvurularındaki yoğunluk

olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, sağlık hizmet kapasitesi ile tıbbi atık üretimi arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir.

2022 yılında toplam atık miktarı 770.521 kg'a gerileyerek yaklaşık %27 oranında azalma göstermiştir. Bu düşüş, pandemi sonrası normalleşme süreciyle ilişkilendirilebilir. Ancak 2023 yılında gözlenen 357.177 kg'lık değer, 2021 yılına kıyasla yaklaşık %66 oranında dramatik bir azalmaya işaret etmektedir.

Bu keskin düşüş yalnızca pandemi sonrası stabilizasyon ile açıklanamaz. 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen depremin; sağlık tesislerinin fiziki olarak zarar görmesi, birçok birimin geçici olarak hizmet dışı kalması, sağlık hizmetlerinin geçici alanlarda sınırlı kapasiteyle yürütülmesi gibi etkileri, tıbbi atık üretiminde belirgin bir azalmaya neden olmuştur. Dolayısıyla 2023 yılı, tıbbi atık üretim miktarının doğrudan sağlık altyapı kapasitesine bağlı olduğunu gösteren kritik bir yıl olarak değerlendirilmektedir.

2024 yılında toplam atık miktarı 537.871 kg'a yükselmiş ve toparlanma sürecine girildiğini göstermiştir. 2025 yılı toplam atık miktarı 535.060 kg olarak kaydedilmiş olup, 2024 yılı seviyelerine yakın bir istikrar sergilemektedir. Bu durum, Adıyaman ilinde tıbbi atık üretiminin normalleşme ve yeniden yapılanma döneminde dengelendiğine işaret etmektedir.

Bu bulgular ışığında 2020–2025 dönemi üç fazda değerlendirilebilir:

- Pandemi artış dönemi (2020–2021)

- Normalleşme ve afet etkisi dönemi (2022–2023)

- Toparlanma ve yeniden yapılanma dönemi (2024–2025)

Bu yapı, tıbbi atık yönetiminin statik değil, dinamik ve kriz duyarlı bir planlama modeliyle yürütülmesi gerektiğini göstermektedir.

Pandemi ve deprem süreçleri, tıbbi atık üretim miktarlarının sağlık hizmet altyapısına ve hizmet yoğunluğuna doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir. 2021 yılında enfeksiyöz atık fraksiyonunun artışı, 2023 yılında ise sağlık tesis kapasitesindeki azalma, toplam atık miktarlarına doğrudan yansımıştır.

Bu durum, tıbbi atık yönetim sistemlerinin kriz dönemlerine uyum sağlayabilecek esnek bir yapıya sahip olması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen veriler, tıbbi atık miktarlarının zaman, mekân ve kriz koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu değişken yapı, manuel sistemlerin yetersiz kalabileceğini göstermektedir.

MOTAT ve U-ETDS gibi dijital sistemler sayesinde:

- Atık miktarları gerçek zamanlı kayıt altına alınabilmekte,
- Taşıma süreçleri izlenebilmekte,

- Bölgesel ve dönemsel analizler yapılabilmekte,
- Kriz dönemlerinde veri sürekliliği sağlanabilmektedir.

Özellikle 2023 deprem sürecinde sağlık hizmetlerinin geçici alanlara taşınması, dijital sistemlerin önemini artırmıştır. Manuel kayıt sistemlerinin aksayabileceği koşullarda, dijital altyapı yönetimsel sürekliliği sağlamıştır.

Dolayısıyla dijital izlenebilirlik sistemleri yalnızca bir takip aracı değil; kriz dayanıklılığı sağlayan, veri temelli karar desteği sunan ve sürdürülebilir yönetim modeli oluşturan stratejik bir yönetim bileşeni olarak değerlendirilmelidir.

Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında, Adıyaman iline ait 2020–2025 yılları tıbbi atık verileri analiz edilmiş ve pandemi ile 6 Şubat 2023 depremi gibi olağanüstü durumların tıbbi atık yönetim sistemine etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, 2021 yılında pandemi etkisiyle tıbbi atık miktarında yaklaşık %25 oranında artış yaşandığını, 2023 yılında ise deprem sonrası sağlık altyapısındaki aksamalara bağlı olarak yaklaşık %66 oranında keskin bir düşüş gerçekleştiğini ortaya koymuştur. 2024 ve 2025 verileri ise sistemin yeniden toparlanma sürecine girdiğini göstermektedir.

Bu dalgalanmalar, tıbbi atık yönetiminin statik değil; krizlere duyarlı, esnek ve veri temelli bir yapıda kurgulanması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. MOTAT, U-ETDS ve soğuk zincir uygulamaları sayesinde atıkların kaynağından bertarafına kadar olan süreçlerin dijital ortamda izlenebilmesi, özellikle olağanüstü dönemlerde veri sürekliliğinin sağlanmasına ve yönetimsel kontrolün korunmasına katkı sunmuştur. Manuel sistemlerin veri kaybı ve izleme eksikliği riskine karşı, dijital izlenebilirlik altyapısı operasyonel dayanıklılığı artıran kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

Adıyaman ili örneği, dijital izlenebilirlik sistemlerinin yalnızca idari kolaylık sağlamadığını; aynı zamanda kriz dönemlerinde sistem sürekliliğini destekleyen stratejik bir yönetim aracı olduğunu göstermektedir. Bu sistemlerden elde edilen verilerin düzenli analiz edilmesi, il bazında atık üretim eğilimlerinin izlenmesine ve dinamik planlama yapılmasına imkân tanımaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, dijital izlenebilirlik sistemlerinden elde edilen verilerin çevresel performans göstergeleri ile bütünleştirilmesi; taşıma optimizasyonu, emisyon azaltımı ve kaynak verimliliği açısından daha kapsamlı değerlendirmelerin yapılmasına olanak sağlayacaktır. Ayrıca afet ve olağanüstü durumlara yönelik dijital atık yönetim senaryolarının geliştirilmesi, sistemin kriz dayanıklılığını artıracaktır.

Sonuç olarak, tıbbi atık yönetiminde dijital izlenebilirliğin güçlendirilmesi; operasyonel verimlilik, çevresel sürdürülebilirlik ve halk sağlığı güvenliği açısından stratejik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir. Adıyaman ili örneği, dijital dönüşümün kriz dönemlerinde yönetimsel kırılganlığı azaltan ve veri temelli karar alma süreçlerini destekleyen bir yapı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Tezli yüksek lisans eğitim ve öğretimim boyunca başta çağdaş ve kaliteli yaklaşımı ile hizmet sunan Adıyaman Üniversitesi'ne, yardım ve katkılarıyla bana yol gösteren kıymetli hocam Prof. Dr. Yavuz DEMİRCİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynaklar

[1] World Health Organization (2024). Health-care waste: Fact sheet. Geneva: WHO https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste

[2] 22.07.2005 tarih ve 25883 sayılı Resmî Gazete Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği

[3] Ertaş, H., & Güden, M. A. (2019). Hastanelerde tıbbi atık yönetimi. Sosyal Araştırmalar ve Yönetim Dergisi, 1, 53-60.

[4] Mohamed, N. H., Khan, S., & Jagtap, S. (2023). Modernizing Medical Waste Management: Unleashing the Power of the Internet of Things (IoT). Sustainability, 15(13), 9909. https://doi.org/10.3390/su15139909

[5] Sharma, V., Jamwal, A., Agrawal, R., & Pratap, S. (2024). A review on digital transformation in healthcare waste management: Applications, research trends and implications. Waste Management & Research, 43(6), 828–849. https://doi.org/10.1177/0734242X241285420

[6] Mohamed, N. H., Khan, S., & Jagtap, S. (2024). Waste 4.0: Transforming medical waste management through digitalization and automated segregation. Discover Sustainability, 5, Article 353. https://doi.org/10.1007/s43621-024-00593-9

[7] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı MoTAT – Mobil Atık Takip Sistemi.

[8] MoTAT – Mobil Atık Takip Sistemi. Ulaştırma Elektronik Takip ve Denetim Sistemi (U-ETDS) tanımı, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı resmi portalı. https://uetds.uab.gov.tr/u-etds-nedir

THE INVESTIGATON OF BIOCHEMICAL RESPONSES and LIPID METABOLISM in SOYBEANS UNDER VARYING CONCENTRATıONS OF NAA AND SA PLANT GROWTH HORMONES

Fadime KARABULUT

Bitlis Eren Üniversitesi, Hizan Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bitki fizyolojisi, Bitlis, Türkiye, Orcid:0000-0001-5186-2303

Abstract

In this study, the effects of naphthalene acetic acid (NAA) and salicylic acid (SA) hormones applied at different concentrations to the soybean (Glycine max L.) plant on the fatty acid profile in the leaves were investigated. Changes in saturated and unsaturated fatty acids were evaluated with NAA and SA applied at specific concentrations, both individually and in combination. Murashige and Skoog (MS) nutrient medium was used throughout the study, and seeds were sown in this medium. Shoot tips were used as explants. In this study, the changes in saturated and unsaturated fatty acids caused by NAA and SA applied at specific concentrations, both individually and in combination, were evaluated, and it was determined that they play an important role in the metabolic activities of plants. Gas chromatography analyses revealed significant increases in essential fatty acids, particularly palmitic acid (C16:0) (20-33%) and linoleic acid (C18:2 n-6c) (9-18%). A decrease in stearic acid (C18:0) (8-17%) has been detected. The results indicated significant changes in lipid metabolism, particularly in saturated and unsaturated fatty acid levels. Applications using optimal concentrations of NAA and SA increased the accumulation of beneficial fatty acids and demonstrated their potential to improve the nutritional quality of soybeans. This research provides valuable insights into the role of plant growth regulators in regulating lipid biosynthesis in cereal crops.

Key words: Fatty acids, *Glycine max* L., Lipid metabolism, Naphthalene acetic acid, Salicylic acid, Plant physiology

1. Introduction

Plant growth regulators (PGRs) are compounds that play a critical role in regulating plant growth, development and metabolic processes. Among these regulators, naphthaleneacetic acid (NAA) and salicylic acid (SA) stand out as two important phytohormones with significant functions in plant physiology (Iqbal et al., 2025). NAA is a synthetic auxin derivative that exerts powerful effects on root development, cell division and general plant growth (Dai et al., 2025). Auxins also play an active role in regulating lipid metabolism in plants. Studies in Arabidopsis have shown that auxin acts as a regulator of fatty acid synthesis and induces lipid synthesis for the control of vacuolar transport. (Oubohssaine et al., 2025).

NAA applications enhance stress tolerance in plants by effectively scavenging reactive oxygen species (ROS), reducing sodium ion accumulation and protecting photosystem II (PSII) against stress-induced damage (Rao et al., 2025). Salicylic acid (SA) is a phenolic phytohormone that plays a role in regulating various physiological processes, including plant defence mechanisms, growth, photosynthesis, nitrate metabolism, ethylene production and flowering (Paul et al., 2024). Recent studies have shown that cytokinins and abscisic acid (ABA) influence fatty acid and oil accumulation during soybean (Glycine max) seed

maturation. Furthermore, it has been established that various plant hormones are effective in enriching omega-3 fatty acids in microalgae (Chaudhary et al., 2025). Soya bean (Glycine max L.) holds a strategic position in agricultural production as a major legume and oil source worldwide (Addae-Frimpomaah et al., 2026). Soya bean seeds are nutritionally valuable due to their high protein and fat content, and their leaves are also used as a model system for various metabolic studies. The fatty acid composition of leaf tissues is of critical importance in terms of the plant's photosynthetic efficiency, membrane integrity and stress responses. Fatty acids are the fundamental building blocks of plant cell membranes and play a role in vital functions such as membrane fluidity, signal transduction and energy storage (Dutta et al., 2025). Saturated fatty acids (particularly palmitic acid C16:0 and stearic acid C18:0) ensure membrane stability, whilst unsaturated fatty acids (linoleic acid C18:2 and linolenic acid C18:3) maintain membrane fluidity and functionality (Shramko et al., 2020). The regulatory effects of phytohormones on this fatty acid profile are of great importance in terms of plant physiology and agricultural biotechnology (El Sabagh et al., 2022).

The aim of this study is to determine the effects of NAA and SA applications at different concentrations on the fatty acid profile of soybean leaves and to elucidate the synergistic or antagonistic effects of these hormones on lipid metabolism. The study was designed to understand the regulatory mechanisms of plant growth regulators on fatty acid biosynthesis and their impact on soybean quality.

2. Materials and Methods

2.1. Plant Material and Experimental Design

This study was conducted in the laboratories of the Department of Biology at Fırat University. Soya beans (*Glycine max* L. cv. "ATAEM-7") were used as the experimental material. The seeds were sterilised in accordance with standard germination tests and sown in Murashige and Skoog (MS) medium.

The experimental design was set up using a completely randomised block design (RCBD). The experiment included a control group (MS medium only) and treatment groups (different concentrations of NAA and SA). Combination treatments of NAA and SA were applied.

2.2. Cultural Conditions and Hormone Treatments

The seeds were grown in MS medium under conditions of 25±2°C, 60–70% humidity and a 16/8-hour (light/dark) photoperiod. Stem tips, nodes, hypocotyls, roots and petioles, each 1 cm in length, were cut from 7-day-old soybean seedlings grown in a sterile in vitro environment and transferred to a regeneration medium. These were incubated in a climate chamber at 25±2°C in MS medium supplemented with appropriate BBD concentrations in 90×15 mm sterile Petri dishes. All tissue culture-related work was carried out within a laminar flow cabinet.

2.3. Fatty Acid Analysis

Fatty acid extraction from the samples was carried out by homogenising 10 g of plant material using a homogeniser and an isopropanol/hexane (2:3 v/v) solution for fatty acids (Hara & Radin, 1978). The lipid extracts were centrifuged at 10,000 g for 5 minutes and filtered. The solvent was then removed using a rotary evaporator at 40°C. The samples were stored at -25°C. The experiment was repeated three times.

Analysis of the fatty acids in the samples; the conversion of fatty acids from soybean samples into their methyl ester form was carried out based on the protocol reported by Christie (1990). Analysis of the converted fatty acid methyl esters was performed using a SHIMADZU GC 17 Ver. 3 gas chromatography system. For the analytical procedures, a 25-metre-long, 0.25-micrometre internal diameter, 25-micron film thickness PERMABOND capillary column manufactured by MACHEREY-NAGEL (Germany) was used. The column temperature was programmed between 130 and 220°C, with the injection zone set at 240°C and the detector zone at 280°C. Nitrogen was used as the carrier gas. Prior to the measurements, standard fatty acid methyl ester mixtures (0.5–1 µl) were injected into the system to determine the retention times of each component.

2.4. Statistical Analysis

All analyses were performed in triplicate and the results are expressed as mean ± standard deviation ($\bar{X} \pm SD$). SPSS 22.0 statistical software was used to analyse the data. One-way analysis of variance (ANOVA) was used to determine differences between groups, and the Tukey HSD test was applied for significance testing. A p-value of <0.05 was considered statistically significant (Field, 2013).

3. Findings

3.1. Changes in the Fatty Acid Profile

The NAA and SA treatments have caused significant changes in the fatty acid profile of soybean leaves (Table 1). Gas chromatography analyses revealed concentration-dependent changes in the levels of saturated and unsaturated fatty acids.

Table 1. Effects of Different NAA and SA Treatments on the Fatty Acid Composition of Soya Bean Leaves (%)

Treatment	C16:0 (Palmitic)	C18:0 (Stearic)	C18:1 (Oleic)	C18:2 (Linoleic)	C18:3 (Linolenic)	DY/DY Ratio
Control	18.45±0.82	12.34±0.56	22.18±1.12	35.42±1.45	8.61±0.42	2.89
NAA 0.1 mg/L	20.12±0.91*	11.45±0.48*	21.89±1.08	36.78±1.52	9.76±0.51*	3.12
NAA 0.5 mg/L	24.67±1.12**	10.23±0.42**	20.45±0.98*	38.92±1.68**	10.73±0.58**	3.81
NAA 1.0 mg/L	28.34±1.45**	9.12±0.38**	19.23±0.89**	40.15±1.82**	11.16±0.62**	4.40
SA 0.1 mM	19.87±0.88	11.89±0.52	22.45±1.15	36.12±1.48	9.67±0.48*	3.04
SA 0.5 mM	23.45±1.05**	10.67±0.45*	21.12±1.02*	37.89±1.62*	10.87±0.55**	3.55
SA 1.0 mM	26.78±1.28**	9.45±0.40**	20.34±0.95*	39.45±1.75**	11.98±0.68**	4.24
NAA+SA (0.5+0.5)	29.12±1.52**	8.78±0.35**	19.67±0.92**	41.23±1.88**	12.20±0.72**	4.70
NAA+SA (1.0+1.0)	32.45±1.68**	8.12±0.32**	18.45±0.85**	42.56±1.95**	12.42±0.78**	5.01

* Values are presented as mean ± standard error. *p<0.05, *p<0.01 indicates a statistically significant difference from the control group.

Palmitic acid (C16:0) levels increased significantly in a concentration-dependent manner following the application of NAA and SA. The application of 1.0 mg/L NAA increased the palmitic acid level by 53.4%, raising it to 28.34% (control: 18.45%). Similarly, a 1.0 mM SA application resulted in a palmitic acid level of 26.78% (a 45.1% increase). A synergistic effect was observed in combination treatments; the application of 1.0 mg/L NAA + 1.0 mM SA raised the palmitic acid level to 32.45% (a 75.9% increase).

Stearic acid (C18:0) levels, however, decreased significantly in all hormone treatments. The lowest stearic acid level (8.12%) was detected in the combination treatment with the highest concentration. This decrease can be explained by the induction of delta-9 desaturase enzyme activity by the hormone treatments.

Linoleic acid (C18:2 n-6), the most abundant unsaturated fatty acid, has increased significantly following hormone treatments. A 1.0 mg/L NAA treatment raised the linoleic acid level to 40.15% (a 13.4% increase), whilst a 1.0 mM SA treatment reached 39.45% (an 11.4% increase). In combination treatments, this increase reached as high as 42.56% (a 20.2% increase).

3.2. Saturated/Unsaturated Fatty Acid Ratio and Metabolic Indices

NAA and SA treatments significantly altered the saturated fatty acids (SFA)/unsaturated fatty acids (UFA) ratio. The SFA/UFA ratio, which was 2.89 in the control group, increased with hormone treatments and reached 5.01 in the combination therapy with the highest concentration. This increase demonstrates the predominance of unsaturated fatty acid biosynthesis.

Atherogenic index (AI) and thrombogenic index (TI) values decreased with hormone treatments. Whilst the AI value was 0.42 in the control group, it fell to 0.28 in the 1.0 mg/L NAA + 1.0 mM SA treatment. Similarly, the TI value, which was 1.15 in the control group, decreased to 0.78 with the same treatment. These findings indicate that hormone treatments have altered the leaf fatty acid profile in a more favourable direction for cardiovascular health.

4. Discussion

This study demonstrates the regulatory effects of NAA and SA on the fatty acid profile of soybean leaves. The findings indicate that these hormones are critical regulators of lipid metabolism and can alter fatty acid composition in a way that enhances nutritional quality.

NAA applications have led to significant increases in palmitic acid and linoleic acid levels. These findings are consistent with the known regulatory roles of auxins in lipid biosynthesis. Auxins ensure cell wall flexibility by increasing the synthesis of membrane lipids during cell expansion and division (Ahiakpa et al., 2025). The effect of NAA can be explained, in particular, by its enhancement of the activity of the acyl-CoA carboxylase (ACC) and fatty acid desaturase (FAD) enzymes (Xing et al., 2023).

An increase in palmitic acid (C16:0) is important for the stability of the thylakoid structure in photosynthetic membranes. However, high palmitic acid levels may also be an indicator of triacylglycerol (TAG) accumulation (Wu et al., 2021; Xiao et al., 2022). In the study, the decrease in stearic acid (C18:0) levels, in conjunction with NAA applications, indicates an increase in delta-9 desaturase enzyme activity (Si et al., 2023; Liu et al., 2022). This enzyme accelerates the unsaturated fatty acid synthesis pathway by converting stearic acid into oleic acid.

Salicylic acid applications altered the fatty acid profile in a manner similar to NAA. Whilst the role of SA in plant defence responses is well established, its effects on lipid metabolism remain a less-studied area (Kumar et al., 2025). In this study, it was demonstrated that SA increased levels of linoleic acid (C18:2) and linolenic acid (C18:3). These findings are consistent with literature findings suggesting that SA regulates the expression of omega-3 fatty acid desaturase genes (FAD3, FAD7, FAD8) (Xiao et al., 2022).

Combination treatments with NAA and SA have shown more pronounced effects compared to single-hormone applications. This synergistic effect stems from the two hormones regulating lipid biosynthesis in a multifaceted manner by activating different signalling pathways (Aerts et al., 2022; Ambrus et al., 2026). Whilst NAA increases cell proliferation and membrane synthesis via the auxin signalling pathway, SA enhances the stress response and antioxidant defence via NPR1-independent pathways (Padiyal et al., 2026).

The highest DY/DY ratio observed in combination treatments (5.01) indicates an increase in the fluidity and functionality of plant cell membranes. A high content of unsaturated fatty acids enhances photosynthetic efficiency and improves cold stress tolerance. These findings suggest that the combination of NAA and SA has the potential to improve biochemical quality in soybean cultivation (Javidi et al., 2022).

The findings of this study hold potential for improving the fatty acid profile of soybean leaves. In particular, increases in linoleic acid (C18:2 n-6) and linolenic acid (C18:3 n-3) enhance the nutritional value of the leaves. Omega-6 and omega-3 fatty acids are essential fatty acids in the human diet and possess anti-inflammatory and cardiovascular protective effects (Gutierres et al., 2025).

The reduction in atherogenic and thrombogenic indices indicates that the application of hormones has altered the fatty acid profile of the leaves in a more beneficial direction (Khalili Tilami and Kouřimská, 2022). These findings enhance the potential for the leaves to be used as a functional food ingredient. However, it is important to determine the optimal concentrations, as very high levels of palmitic acid may carry a risk of metabolic syndrome (Carta et al., 2017).

Mechanistic Assessment and Future Work

The findings indicate that the effects of NAA and SA on lipid metabolism are multifaceted. It is thought that auxins modulate the rate-limiting step of fatty acid biosynthesis by increasing ACC (acetyl-CoA carboxylase) activity, whilst SA regulates desaturation reactions by modulating the expression of FAD genes.

In future studies, it is recommended that transcriptomic and metabolomic analyses be used to elucidate the molecular mechanisms by which these hormones influence lipid metabolism. In particular, determining the expression levels of the FAD2, FAD3, SAD (stearic acid desaturase) and ACC genes via qRT-PCR will contribute to our understanding of hormonal regulation. Furthermore, testing the efficacy of these hormones under different environmental stress conditions (drought, salinity, temperature) will provide valuable insights for agricultural applications.

Conclusion

This study has demonstrated that NAA and SA exert significant regulatory effects on the fatty acid profile and lipid metabolism in soybean (Glycine max L.) leaves. NAA treatments increased palmitic acid (C16:0) levels by 20–33%, whilst reducing stearic acid (C18:0) levels by 8–17%. An increase of 9–18% was observed in linoleic acid (C18:2) levels. SA treatments similarly altered the saturated fatty acid profile and increased the accumulation of unsaturated fatty acids. In particular, 1.0 mM SA increased the level of linolenic acid (C18:3) by 39%. Combination treatments exhibited synergistic effects and caused more pronounced metabolic changes compared to single treatments. The highest-concentration combination (1.0 mg/L NAA + 1.0 mM SA) provided the highest unsaturated fatty acid ratio (UFA/FA = 5.01). Nutritional quality indices (AI and TI) were improved by the hormone applications, and the functional food potential of the leaves was enhanced.

These findings demonstrate that plant growth regulators are effective tools for regulating lipid biosynthesis in cereal crops and may contribute to the development of strategies to improve soybean quality. At optimal concentrations, NAA and SA applications have the potential to make the fatty acid profile of the leaves nutritionally more valuable.

Acknowledgements

I would like to thank the Fırat University Plant Tissue Culture Laboratory for providing financial support.

References

Addae-Frimpomaah, F., Sossah, F. L., Adjebeng-Danquah, J., Karikari, B. (2026). Distribution, Cultivation, and Economic Importance of Soybean. In Soybeans (pp. 41-58). Apple Academic Press.

Aerts, N., Pereira Mendes, M., Van Wees, S. C. (2021). Multiple levels of crosstalk in hormone networks regulating plant defense. The Plant Journal, 105(2), 489-504.

Ahiakpa, J. K., Munir, S., Karikari, B., Li, F., Zhang, X., Ge, P., ... Zhang, Y. (2025). Alternative splicing occurs in auxin-mediated trade-off between fruit development and quality in tomato. BMC Plant Biology, 25(1), 1241.

Ambrus, V., Farkas, D., Király, A., Tóth, B., Abdalla, N., Dobránszki, J. (2026). Comparative Transcriptomic Analysis of Two Apple Cultivars in Response to Dual Cytokinin Applied In Vitro. Plants, 15(7), 1001.

Carta, G., Murru, E., Banni, S., Manca, C. (2017). Palmitic acid: physiological role, metabolism and nutritional implications. Frontiers in physiology, 8, 902.

Chaudhary, N., Mishra, M., Fatima, M., Singh, N. K. (2025). IAA and ABA-stress mediate Omega-3 fatty acid enhancement in Monoraphidium contortum SRR472. Plant Gene, 100559.

Christie, W.W., (1990). Preparation of methyl esters, Part-1. Lipid Technology, 2, 48-49.

Dai, A., Zheng, Z., Ma, D., Wu, R., Mo, Y., Duan, L., Tan, W. (2025). Synthesis, biological activity and mechanism of action of pyridine-containing arylthiourea derivatives. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 73(15), 8865-8875.

Dutta, S., Islam, Z., Das, S., Barman, A., Chowdhury, M., Mondal, B. P., ...Manna, D. (2025). Harmonizing plant resilience: Unveiling the symphony of membrane lipid dynamics in response to abiotic stresses: A review. Discover Plants, 2(1), 61.

Field, A. (2013). Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics (4th ed.). Sage Publications.

Gutierres, D., Pacheco, R., Reis, C. P. (2025). The role of Omega-3 and Omega-6 polyunsaturated fatty acid supplementation in human health. Foods, 14(19), 3299.

Hara, A., Radin N.S., (1978). Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. Analytical Biochemistry, 90(1), 420-426.

Iqbal, B., Jalal, A., Ahmad, N., Okla, M. K., Elgawad, H. A., El-Tayeb, M. A., ...Du, D. (2025). Exogenous naphthaleneacetic acid (NAA) mitigated the alkaline stress changes in the growth and physio-biochemical performance of maize (Zea mays L.) seedlings. Acta Physiologiae Plantarum, 47(2), 19.

Javidi, M. R., Maali-Amiri, R., Poormazaheri, H., Niaraki, M. S., Kariman, K. (2022). Cold stress-induced changes in metabolism of carbonyl compounds and membrane fatty acid composition in chickpea. Plant Physiology and Biochemistry, 192, 10-19.

Khalili Tilami, S., Kouřimská, L. (2022). Assessment of the nutritional quality of plant lipids using atherogenicity and thrombogenicity indices. Nutrients, 14(18), 3795.

Kumar, A., Choudhary, A., Kaur, H., Singh, K., Guha, S., Choudhary, D. R., ...Husen, A. (2025). Exploring the role of silicon in enhancing sustainable plant growth, defense system, environmental stress mitigation and management. Discover Applied Sciences, 7(5), 406.

Liu, F., Wu, R., Ma, X., Su, E. (2022). The advancements and prospects of nervonic acid production. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 70(40), 12772-12783.

Oubohssaine, M., Hnini, M., Rabeh, K. (2025). Phospholipid signaling in plant growth and development: Insights, biotechnological implications and future directions. Journal of Plant Physiology, 307, 154454.

Padiyal, A., Bharat, N. K., Behl, R. K., Kumar, K., Singh, J. (2026). Multiple Functions of Plant Defense Activators: Implications for Bolstering Plant Growth Promotion and Crop Protection. Journal of Crop Health, 78(1), 32.

Paul, A., Kakoti, M., Dutta, P., Hazarika, B., Robertson, A., Talukdar, N., Ray, S. (2024). Role of salicylic acid in mitigating stress and improving productivity of crops: A review. J. Adv. Biol. Biotechnol, 27(7), 1351-1361.

Rao, M. J., Duan, M., Zhou, C., Jiao, J., Cheng, P., Yang, L., ...Zheng, B. (2025). Antioxidant defense system in plants: reactive oxygen species production, signaling, and scavenging during abiotic stress-induced oxidative damage. Horticulturae, 11(5), 477.

Shramko, V. S., Polonskaya, Y. V., Kashtanova, E. V., Stakhneva, E. M., Ragino, Y. I. (2020). The short overview on the relevance of fatty acids for human cardiovascular disorders. Biomolecules, 10(8), 1127.

Si, X., Lyu, S., Hussain, Q., Ye, H., Huang, C., Li, Y., ... Wang, K. (2023). Analysis of Delta (9) fatty acid desaturase gene family and their role in oleic acid accumulation in Carya cathayensis kernel. Frontiers in Plant Science, 14, 1193063.

Wu, T., Yu, L., Zhang, Y., Liu, J. (2021). Characterization of fatty acid desaturases reveals stress-induced synthesis of C18 unsaturated fatty acids enriched in triacylglycerol in the oleaginous alga Chromochloris zofingiensis. Biotechnology for biofuels, 14(1), 184.

Xiao, R., Zou, Y., Guo, X., Li, H., Lu, H. (2022). Fatty acid desaturases (FADs) modulate multiple lipid metabolism pathways to improve plant resistance. Molecular biology reports, 49(10), 9997-10011.

Xing, X., Cao, C., Li, S., Wang, H., Xu, Z., Qi, Y., ...Wang, X. (2023). α-naphthaleneacetic acid positively regulates soybean seed germination and seedling establishment by increasing antioxidant capacity, triacylglycerol mobilization and sucrose transport under drought stress. Plant Physiology and Biochemistry, 201, 107890.

CLIMATE-DRIVEN PHYSIOLOGICAL ADAPTATIONS in PLANTS: MOLECULAR AND FUNCTIONAL PERSPECTIVES

Fadime KARABULUT

Bitlis Eren Üniversitesi, Hizan Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bitki fizyolojisi, Bitlis, Türkiye, Orcid: 0000-0001-5186-2303

Abstract

Plants are not only vital to human health and well-being, but also contribute to protecting the environment against the adverse effects of climate change. Increasing drought, high salinity and extreme temperature fluctuations resulting from climate change pose serious threats to global agricultural productivity and food security. Plants have developed multi-layered adaptation mechanisms at morphological, physiological and molecular levels to adapt to these dynamic and challenging environmental conditions. This study synthesises the processes by which plants perceive and respond to abiotic stress factors, particularly focusing on root system architecture (RSA) plasticity, reactive oxygen species (ROS) signalling and epigenetic memory. Plant roots act as a central hub for stress perception, optimising water uptake via tropic movements such as hydrotropism and halotropism whilst avoiding toxic environments. In this process, hormonal messengers such as abscisic acid (ABA), auxin and melatonin maintain cellular water balance by regulating stomatal function and the activity of water channel proteins known as aquaporins (PIPs and TIPs). MAPK cascades, calcium (Ca^{2+}) waves and Heat Shock Factors (HSFs), which play a role in signal transduction, rapidly activate the expression of stress response genes, thereby re-establishing cellular homeostasis.

Findings in recent years have shown that plants 'remember' their stress experiences through epigenetic mechanisms such as DNA methylation and histone modifications, and that this tolerance can be transmitted across generations. Furthermore, the potential of precise gene-editing technologies, such as CRISPR-Cas9, in optimising genetic loci (QTLs) that play a critical role in adaptation processes and in developing new generations of climate-resilient crops is highlighted. This holistic approach provides a strategic roadmap for molecular biology and plant breeding research aimed at sustainable agriculture.

Keywords: Abiotic Stress, CRISPR-Cas9, Plant Adaptation, Root System Architecture, ROS Signalling

1. Introduction

Our world is currently undergoing a critical period in which the natural balance has been disrupted by human activities, and the adverse effects resulting from these disruptions—particularly in the form of climate change—are spreading across all sectors without exception (Petrov et al., 2023). Global warming projections forecast an increase of 2°C in average temperatures by 2100; it is estimated that this situation will lead to significant economic losses in agricultural production and food security (Li et al., 2025). Research indicates that every 1°C rise in temperature could reduce yields of staple crops by between 3% and 7%, with the primary causes of this decline being disrupted phenological stages and accelerated oxidative damage (Bhattacharya, 2022; Kumar et al., 2025). The fact that production must be increased by 70% to 100% to meet the food needs of a global population expected to reach

9.7 billion by 2050, combined with the biotic and abiotic stress factors created by climate change, further exacerbates the severity of the situation.

Unlike animals, plants are 'sedentary' (sessile) organisms that cannot escape changes in their environment and are therefore constantly struggling to cope with environmental disturbances (Sharma and Sharma, 2023). To overcome these challenges, plants have evolved the ability to dynamically reorganise their regulatory networks, developing robust survival strategies through the integrated control of gene expression and metabolic pathways (Mishra et al., 2025). One of the most striking of these adaptation mechanisms is stress memory—the ability of plants to 'remember' past environmental events and use these memories to respond more quickly and effectively to similar situations in the future (Siddique et al., 2024). Particularly in regions with a Mediterranean climate, such as Turkey, it is predicted that the suitable growing areas for crops like maize, cotton and rapeseed will change, whilst the cultivation areas for wheat, a strategic crop, will shrink. In this context, the lengthy processes of traditional breeding methods—which can take over a decade—and the limitations in transferring complex traits are compelling modern breeding programmes to integrate molecular tools, genome editing technologies and epigenetic approaches (Siddique et al., 2024).

This review comprehensively addresses the cellular and molecular mechanisms plants use to adapt to climate change, the role of epigenetic memories, and emerging technological possibilities.

2. The Molecular Basis of Heat Stress Memory

Rising global temperatures pose a direct threat to plant growth and photosynthetic capacity. Plants offer a three-stage tolerance framework in response to this situation: basal thermotolerance, acquired thermotolerance and sustainable acquired thermotolerance (Bernacchi et al., 2025). Memory genes (such as APX2 and HSA32) continue to protect the plant by remaining active even after the stress has ended or by becoming more strongly activated in the event of repeated stress (Staacke et al., 2025). Heat shock transcription factors (Hsfs) and heat shock proteins (HSPs) play a key role in this process. In particular, the HsfA2 factor maintains chromatin in an open state by accumulating epigenetic marks (H3K4 methylation), thereby ensuring the sustained expression of protective genes (Perrella et al., 2022).

In plants, ROS (Reactive Oxygen Species) signalling and the antioxidant balance are maintained through a delicate homeostatic process involving production and scavenging mechanisms. Whilst ROS function as vital signalling molecules for growth, development and stress tolerance at low concentrations, at high levels they are toxic substances capable of damaging cellular components (Averill-Bates, 2024).

3. The Chemical Nature and Formation Dynamics of Reactive Oxygen Species

Although molecular oxygen possesses two unpaired electrons in its ground state, it has a low tendency to react directly with organic molecules due to spin restriction (Minaev et al., 2024). However, energy or electron transfer processes overcome this spin restriction, leading to the formation of highly reactive intermediates.

The main ROS species in plant cells and their characteristics are as follows:

Singlet Oxygen: A species with a half-life of approximately 200 ns; it has very low mobility but a high potential for local damage to pigments and lipids.

Superoxide Anion: Cannot cross membranes; targets iron-sulphur clusters and is a precursor to hydrogen peroxide.

Hydrogen Peroxide: It has a half-life of approximately 1 ms and can freely pass through membranes via aquaporins; this property makes it a central player in signal transduction.

Hydroxyl Radical: It is the most reactive species known; with a half-life of a billionth of a second, it causes irreversible damage to DNA, lipids and proteins (Delgado Martín, 2026).

4. Subcellular Production Sites and Trigger Mechanisms

ROS production in plant cells occurs in organelles where electron flow is intense and through the activity of specific enzyme complexes:

Chloroplasts: Superoxide is produced as a result of singlet oxygen in Photosystem II (PSII) and the direct leakage of electrons to oxygen in Photosystem I (PSI) (the Mehler reaction). Under conditions of drought or high light intensity, an imbalance between the utilisation and absorption of light energy leads to an uncontrolled increase in ROS in this region.

Mitochondria: Superoxide production is triggered along the respiratory chain (particularly in the regions of Complexes I and III).

Peroxisomes: These are centres where large amounts of H_2O_2 are produced, particularly in C3 plants, via the oxidation of glycolate during photorespiration.

Plasma Membrane and Apoplast: NADPH oxidases (RBOH) are responsible for extracellular ROS production and play a critical role in pathogen defence and systemic signal transduction (Fathi et al., 2025).

5. ROS Signalling: Molecular Detection and Transduction Pathways

The transformation of ROS from a damaging agent into a vital signalling molecule is directly linked to how the plant regulates its 'redox homeostasis'. At low concentrations, ROS act as secondary messengers that coordinate growth and stress adaptation (Fedoreyeva, 2024).

Redox Sensing and Post-Translational Modifications (PTMs):

Plant cells use the oxidative modifications of proteins as a 'sensor' to detect the presence of ROS. In particular, sulphur-containing amino acids (cysteine and methionine) react with ROS, altering the protein's conformation and function (Wang et al., 2026). For example, the NPR1 protein, the 'master key' of defence, monomerises from its oligomeric form as a result of cellular redox changes, is transported to the nucleus, and activates defence genes.

Systemic ROS Waves:

Plants use a 'ROS wave' that propagates from cell to cell to transmit stress from a local tissue throughout the entire plant. Initiated by the activation of the RBOHD enzyme, this wave combines with calcium signals to spread rapidly over centimetres, triggering defence priming in tissues that have not yet been exposed to stress (Peláez-Vico et al., 2022).

6. Antioxidant Defence: Enzymatic Detoxification Mechanisms

The maintenance of cellular balance depends on the coordinated action of enzymatic and non-enzymatic antioxidants (de Oliveira et al., 2026).

Enzymatic Systems:

- **Superoxide Dismutase (SOD):** This is the first line of defence; it converts the superoxide radical into H_2O_2 and oxygen. It has isoforms such as Cu/Zn-SOD (chloroplast), Mn-SOD (mitochondria) and Fe-SOD (chloroplast).

- **Catalase (CAT):** A highly efficient enzyme that directly breaks down H_2O_2 into water and oxygen, particularly in peroxisomes.

- **Ascorbate-Glutathione (AsA-GSH) Cycle:** This is the most critical cycle, finely regulating H_2O_2 concentration in chloroplasts and mitochondria. It operates through the synergy of the APX, MDHAR, DHAR and GR enzymes (de Oliveira et al., 2026).

Non-Enzymatic Antioxidants:

- **Ascorbate (Vitamin C) and Glutathione:** They act as cellular redox buffers; the GSH/GSSG ratio provides critical information about the cell's metabolic state.

- **Tocopherols (Vitamin E) and Carotenoids:** They protect membrane lipids and scavenge singlet oxygen.

- **Melatonin and Silicon:** Studies conducted over the past decade have shown that melatonin dramatically increases antioxidant enzyme activity, thereby enhancing stress tolerance (de Oliveira et al., 2026).

7. ROS Regulation and Specific Responses under Stressful Conditions

Various environmental stresses induce specific redox changes in plant metabolism (Singh et al., 2022):

A. Drought Stress: Abscisic acid (ABA), which rises as stomata close, prevents water loss by triggering an RBOH-dependent ROS burst in guard cells.

B. Salinity and Heavy Metal Toxicity: Salinity disrupts the electron transport chain in chloroplasts, leading to the accumulation of high levels of ROS. Heavy metals (e.g. cadmium) inactivate antioxidant enzymes by displacing metals in their active sites (Singh et al., 2022).

C. Extreme Temperatures: Heat stress causes damage to D1/D2 proteins in chloroplasts, whilst the plant responds by activating heat shock transcription factors (HSFs) and antioxidant enzymes (Khan et al., 2024).

Consequently, ROS signalling and antioxidant balance in plants constitute a dynamic homeostasis process that determines the fine line between life and death. Understanding these complex mechanisms at the molecular level is of vital importance for ensuring global food security in the future (Khan et al., 2024).

This balance is maintained and signalling is regulated by the following mechanisms:

- **Controlled Production in Subcellular Compartments:** ROS are continuously produced as by-products of processes such as photosynthetic light reactions (Mehler reaction) in chloroplasts, the respiratory chain (Complexes I and III) in mitochondria, and glycolate oxidation during photorespiration in peroxisomes (Fayad et al., 2024). Additionally, NADPH oxidases (RBOH) in the plasma membrane generate extracellular ROS for signal transduction.

- **Activation of the Enzymatic Scavenging Network:** Superoxide dismutase (SOD) forms the first line of defence by converting the superoxide radical into hydrogen peroxide. Subsequently, catalase (CAT), which is concentrated in peroxisomes, and the ascorbate-glutathione (AsA-GSH) cycle—active in organelles such as chloroplasts and mitochondria (comprising the enzymes APX, MDHAR, DHAR, and GR)—prevents oxidative damage by reducing hydrogen peroxide to water (Rao et al., 2025).

- **Non-Enzymatic Antioxidant Buffering:** Ascorbate (vitamin C) and glutathione (GSH) are the primary water-soluble compounds that maintain cellular redox balance. Tocopherols (vitamin E) and carotenoids, found in membranes, inhibit lipid peroxidation and provide local protection by quenching singlet oxygen (Chinmayi et al., 2025).

- **Redox Sensing and Post-Translational Modifications:** Plant cells detect the presence of ROS—acting as a 'sensor'—through oxidative changes in the cysteine and methionine residues of proteins. These changes enable proteins such as NPR1, the 'master switch' of the defence response, to monomerise, translocate to the nucleus, and activate stress response genes (Chinmayi et al., 2025).

- **Systemic ROS Waves and Long-Distance Communication:** When local stress is detected, an 'ROS wave' is generated that spreads rapidly from cell to cell over centimetres via RBOHD proteins and calcium signals. This wave triggers defence priming in distant organs that have not yet been exposed to stress (Ravi et al., 2023).

- **Integrated Signal Management with Phytohormones:** ROS signals work synergistically with abscisic acid (ABA) in guard cells to coordinate stomatal closure. At the same time, by regulating the antagonism between the salicylic acid (SA) and jasmonic acid (JA) pathways, it enables the plant to select the most appropriate defence strategy against biotic or abiotic stresses (Singh and Roychoudhury, 2023).

8. Genome Editing Technologies and Climate-Resilient Crops

Thanks to revolutionary genome-editing tools such as CRISPR/Cas9, modern agriculture is able to generate faster solutions to the climate crisis (Mishra, 2025). These technologies enable targeted modifications to a plant's genetic makeup, leading to increased yields, pest resistance and resilience to environmental stresses. While base editors make precise nucleotide changes without creating double-strand breaks, prime editors allow for more extensive genetic modifications (Saber Sichani et al., 2023). For example, varieties that increase GABA levels in tomatoes or confer herbicide resistance in rice have been developed using these methods (Sakthivel et al., 2025). Furthermore, by editing multiple genes simultaneously (multiplex editing), it has become possible to combine complex traits such as drought, salinity and heat tolerance within a single plant (pyramiding) (Qu et al., 2026).

CRISPR-Cas9 gene editing technology plays a revolutionary role in the development of crops resistant to stress factors caused by climate change by making extremely precise and specific modifications to plant DNA. Adapted from a bacterial defence system, this technology enables the deletion, modification or insertion of new genes in target genes via the Cas9 enzyme (Qu et al., 2026).

The ways in which CRISPR technology can enhance plants' resilience to climate stress can be summarised as follows:

- **Drought Tolerance:** CRISPR is used to edit genes that control stomatal (pore) density and conductance in order to optimise water loss in plants. For example, regulating stomatal density in rice improves water use efficiency, whilst regulating the DREB gene family in wheat ensures the maintenance of physiological activity under water stress (KhokharVoytas et al., 2023).

- **Temperature and Water Balance:** Genomic advances enable fine-tuning of the function of aquaporins—water channel proteins—and the regulation of Heat Shock Factor (HSF) networks, allowing plants to gain thermotolerance (heat resistance).

- **Yield Stability:** Multi-gene editing using CRISPR can be employed to prevent yield loss under climatic stresses. Simultaneous regulation of genes related to grain number, panicle

density and grain size in rice ensures yield is maintained even under harsh environmental conditions (KhokharVoytas et al., 2023).

- **Rapid Breeding Process:** Whilst traditional breeding methods require 8–10 years to develop stress tolerance traits, CRISPR technology can produce similar results in as little as 2–3 years through direct and heritable gene editing.

- **Disease Resistance:** In response to the increasing pressure from pests and diseases caused by climate change, susceptibility genes (S genes) that inhibit plant immunity are modified using CRISPR to provide resistance against diseases such as bacterial blight and powdery mildew (KhokharVoytas et al., 2023).

Furthermore, as CRISPR applications introduce changes in native gene sequences that resemble natural mutations without introducing foreign DNA into the plant, they may help to circumvent the strict regulations and public backlash associated with GMOs (Genetically Modified Organisms). Prime editing, a new method, minimises the risk of side effects by making much more precise changes to DNA without causing double-strand breaks (Kumar et al., 2023).

9. The Biology of Root Systems and Environmental Control

Roots are the primary interface between plants and the soil, and play a critical role in the uptake of water and nutrients. Plant roots utilise a mechanism known as hydropatterning, whereby they sense the distribution of water in the soil and bias the development of their branching architecture and root hairs towards the direction of water availability (Ramachandran et al., 2025). Root system architecture (RSA) is shaped by the non-uniform distribution of nutrients such as nitrogen and phosphorus; for example, in the absence of phosphorus, plants exhibit more intensive root development in the surface layers (Ramachandran et al., 2025). Under salinity stress, whilst the main root continues to grow after a brief pause, lateral roots may enter a dormant phase lasting several days; these differences are regulated by abscisic acid (ABA) signals. In root development, hormones do not act alone but through a complex 'cross-talk' mechanism (Ghosh et al., 2025). Here are the key points of this balance:

Auxin and Cytokinin Balance: This is the most critical interaction. Whilst auxin promotes lateral root formation and cell division, cytokinin generally inhibits the emergence of lateral roots. The size of the meristem tissue at the root tip is determined by the ratio of these two hormones (Rivas et al., 2022).

ABA (Abscisic Acid) and Ethylene: Under drought stress, ABA enables the taproot to continue growing by limiting ethylene production or its effects. This is a vital collaboration that allows the plant to reach water at greater depths (Nazir et al., 2024).

Auxin and Ethylene: High auxin levels can trigger ethylene production. Although ethylene slows root growth, it accelerates the formation of root hairs, which enhance water and mineral uptake (Nazir et al., 2024).

Plant roots possess the ability to alter their shape and growth direction in response to environmental conditions (plasticity) (Yetgin, 2024).

- **Deep Root Growth:** During drought, plants may extend their taproots to reach water in deeper soil layers whilst reducing lateral root branching. Specific genes, such as the DRO1 gene found in rice, increase deep rooting and drought tolerance by making the root angle more sensitive to gravity (Kirschner et al., 2024).

- **Hydrotropism:** This is the growth of roots towards moist areas. The hormones abscisic acid (ABA) and cytokinin play a role in this process.

- **Halotropism:** In saline soils, roots may grow towards areas with lower salt concentrations to avoid high salt concentrations (negative halotropism). This response is regulated by the redistribution of the auxin hormone at the root tip (Zheng et al., 2024).

10. The Balance of ROS and Hormonal Signalling

Although ROS were initially regarded as toxic by-products of cellular metabolism, they are now recognised as secondary messengers of vital importance in plant growth and stress responses. Under stress conditions, ROS accumulation in cells increases; whilst this accumulation activates defence mechanisms when controlled, it leads to DNA, lipid and protein damage when uncontrolled (Ravi et al., 2023). Plant hormones such as ABA, auxin, cytokinin and brassinosteroids help maintain the plant's homeostasis by coordinating ROS levels and antioxidant enzyme activities.

The primary regulator of the adaptation process is abscisic acid (ABA). When drought or salinity is detected, ABA, synthesised in the roots, is transported to the leaves via the vascular bundles, causing the stomata to close and directing root growth in a way that mitigates the effects of stress (Mukherjee et al., 2023). Furthermore, substances such as cytokinins, auxins and melatonin also play significant roles in root growth and stress tolerance.

In summary, plant roots demonstrate a dynamic resistance to these challenging conditions by forming structural barriers, altering growth directions and maintaining chemical balances within the cells.

Melatonin and plant hormones play critical roles in the defence mechanisms plants develop against high-temperature stress, including signal transduction, physiological regulation and antioxidant protection (Raza et al., 2022).

The key roles played by these compounds under heat stress can be summarised as follows:

A. Melatonin and Stomatal Regulation

Melatonin helps to maintain plant water balance, particularly under stress conditions where heat and drought occur simultaneously (Mumithrakamatchi et al., 2024).

- **Stomatal Conductance:** It has been observed that exogenously applied melatonin increases stomatal conductance in tomato seedlings under heat and drought stress.

- **ABA-Independent Mechanism:** Interestingly, this regulatory effect of melatonin on the stomata occurs via mechanisms independent of the Abscisic Acid (ABA) signalling pathway, rather than through the classic stress hormone ABA.

- **Antioxidant Effect:** Melatonin application provides cellular protection by influencing the activity of enzymes that scavenge Reactive Oxygen Species (ROS), which increase under heat stress (Raza et al., 2022).

B. Brassinosteroids (BR) and Heat Shock Proteins (HSPs)

Brassinosteroids play a central role in enhancing tolerance to heat stress.

- **Signal Transduction:** BRs promote the production of hydrogen peroxide, which acts as a signalling molecule under stress.

- **HSP Activation:** This increase enables the plant to withstand high temperatures by activating stress-related molecules such as heat shock proteins (HSPs), dehydins and antioxidant enzymes (Raza et al., 2022).

- **Metabolic Efficiency:** BRs support growth by improving assimilation and photochemical efficiency under heat stress.

C. Salicylic Acid (SA) and Jasmonic Acid (JA)

These two hormones regulate both chemical and systemic responses to heat stress.

- **Salicylic Acid:** Under high heat stress, SA levels may increase, thereby enhancing plant tolerance. SA acts as a 'second messenger' by triggering the production and activation of defence proteins.

- **Jasmonic Acid:** During heat shock, JA acts as a critical signal transducer in the formation of specific secondary metabolites (e.g. sesquiterpenes) (Sultana et al., 2025).

D. Abscisic Acid (ABA)

ABA is the primary hormone regulating stomatal closure to prevent water loss.

ABA Metabolites: Heat stress leads to the accumulation of ABA conjugate forms (ABA-glucose esters) at both moderate and severe stress levels. Changes in ABA levels initiate physiological adaptations by interacting with SnRK2 proteins.

E. Auxin and Root Development

High ambient temperatures affect auxin signalling and transport at the root tips.

- **Root Plasticity:** An increase in temperature enhances auxin signalling at the root tip, promoting cell elongation and altering the root system architecture (RSA).

- **HSP Interaction:** Proteins such as HSP90.1 regulate growth by maintaining the stability of the auxin receptor TIR1 during temperature changes.

F. Strigolactones (SL)

Strigolactones help to reduce oxidative damage caused by high temperatures by promoting the production and accumulation of antioxidants. They strengthen the plant's oxidative defence system by triggering ROS scavenging mechanisms.

In summary; whilst melatonin regulates water loss and stomatal movement independently of ABA, brassinosteroids and salicylic acid protect the plant against thermal damage by activating heat shock proteins and antioxidant systems (Waseem et al., 2025).

11. Anatomical Changes and Physical Barriers

Physical changes in the root structure are critical for preventing water loss and blocking the entry of toxic substances.

- **Accumulation of Suberin and Lignin:** Under drought and salinity stress, the accumulation of suberin and lignin increases in the endodermis and exodermis layers of the roots. This creates a physical barrier that prevents water from escaping the root and restricts the entry of salt ions (Na^+) into the vascular tissue (Peralta Ogorek et al., 2023).

- **Aerenchyma Formation:** Under certain stress conditions, air spaces (aerenchyma) may form in root tissues to facilitate gas exchange.

- **Root Hair Regulation:** Under drought stress, the length and density of root hairs can be increased to expand the water-absorption surface area (Peralta Ogorek et al., 2023).

This transformation of plant roots under stress constitutes both a chemical and a structural defence system.

Hormonal Mechanisms: ABA suppresses the emergence of lateral roots during drought, directing energy towards the main root's penetration into deeper soil. Auxin, meanwhile, accumulates on one side of the root during the 'escape' response (halotropism), promoting asymmetric cell elongation; thus, the root physically moves away from the saline area (Marik and Sadhukhan, 2025).

Physical Barriers: Suberin forms a waterproof sheath around endodermis cells. This not only prevents water from seeping back into the soil but also blocks the entry of toxic ions, such as sodium, into the vascular bundles (Chen et al., 2022). Aerenchyma, on the other hand, consists of spaces formed by the controlled death of cells; these channels act as a 'snorkel' to transport oxygen from the stem to the roots.

12. Molecular and Biochemical Mechanisms

- **Aquaporins:** These proteins, which regulate water transport across cell membranes, are finely tuned to maintain water balance during times of stress. During drought, whilst some aquaporins are suppressed to prevent water loss, others are produced in greater quantities in the roots (upregulation) to increase water uptake from deep soil layers (Afonso et al., 2025).
- **Osmotic Regulation:** Root cells accumulate osmotic protectants such as proline, sugars and sugar alcohols within the cell to lower water potential and sustain water uptake.
- **Antioxidant Defence:** Reactive Oxygen Species (ROS) formed under stress can damage cells. Roots increase the activity of antioxidant enzymes such as SOD, CAT and APX to clear these harmful molecules.
- **Epigenetic Regulation:** Roots can 'remember' their stress experiences through mechanisms such as DNA methylation and histone modifications. These epigenetic changes enable stress-related genes to be expressed more rapidly or effectively (Abdulraheem et al., 2024).

Conclusions and Future Outlook

Utilising the epigenetic memory of plants and integrating genome editing tools into breeding programmes is essential for sustainable agriculture. Artificial intelligence (AI)-supported genomic predictions and high-throughput phenotyping methods will accelerate the development of the next generation of resilient crops. However, the widespread adoption of these technologies requires the establishment of harmonised regulatory frameworks on a global scale and the building of public trust. Understanding how plants integrate environmental information through their complex physical networks is key to safeguarding our future food security.

References

Abdulraheem, M. I., Xiong, Y., Moshood, A. Y., Cadenas-Pliego, G., Zhang, H., Hu, J. (2024). Mechanisms of plant epigenetic regulation in response to plant stress: recent discoveries and implications. Plants, 13(2), 163.

Afonso, P., Castro, I., Couto, P., Leal, F., Carnide, V., Rosa, E., Carvalho, M. (2025). Root phenotyping: a contribution to understanding drought stress resilience in grain legumes. Agronomy, 15(4), 798.

Averill-Bates, D., (2024). Reactive oxygen species and cell signaling. Review. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research, 1871(2), 119573.

Bernacchi, C. J., Long, S. P., Ort, D. R. (2025). Safeguarding crop photosynthesis in a rapidly warming world. Science, 388(6752), 1153-1160.

Bhattacharya, A., (2022). Effect of low-temperature stress on germination, growth, and phenology of plants: A review. Physiological processes in plants under low temperature stress, 1-106.

Chen, A., Liu, T., Wang, Z., Chen, X., (2022). Plant root suberin: a layer of defence against biotic and abiotic stresses. Frontiers in Plant Science, 13, 1056008.

Chinmayi, S., Yadav, M., Nandhan, N. S., Barot, M., Saikrishna, M., (2025). Enzymatic and nonenzymatic antioxidant defense in plants under drought stress. In Role of Antioxidants in Mitigating Plant Stress (pp. 75-85). Academic Press.

de Oliveira, J. M., Carnib, B. L., Destro, A. L. F., Floresta, L. R., Lage, T. M., dos Santos, R. M., ... Silva, A. C. A., (2026). Non-Enzymatic Antioxidants and the Regulation of Redox Balance in Health: Mechanisms and Therapeutic Implications.

Delgado Martín, S. (2026). Oxidative damage in reperfusion after stroke: ferroptosis and the role of the mitochondrial sodium/calcium exchanger NCLX.

Fathi, A., Shiade, S. R. G., Saleem, A., Shohani, F., Fazeli, A., Riaz, A., ... Rahimi, M., (2025). Reactive oxygen species (ROS) and antioxidant systems in enhancing plant resilience against abiotic stress. International Journal of Agronomy, 2025(1), 8834883.

Fayad, A. N., Mazo-Durán, D., Míguez, D. G., (2024). Cellular compartmentalization as a physical regulatory mechanism of signaling pathways. Biophysica, 4(4), 634-650.

Fedoreyeva, L. I., (2024). ROS as signaling molecules to initiate the process of plant acclimatization to abiotic stress. International Journal of Molecular Sciences, 25(21), 11820.

Ghosh, T., Atta, K., Mondal, S., Bandyopadhyay, S., Singh, A. P., Jha, U. C., ...Gujjar, R. S., (2025). Hormonal signaling at seed germination and seedling stage of plants under salinity stress. Plant Growth Regulation, 105(3), 583-600.

Khan, S., Saify, S., Sofo, A., Khan, N. A., (2024). The mechanisms of melatonin action in shielding photosynthesis during heat stress. CABI Reviews, 19(1).

KhokharVoytas, A., Shahbaz, M., Maqsood, M. F., Zulfiqar, U., Naz, N., Iqbal, U. Z., ... AlShaqhaa, M. A., (2023). Genetic modification strategies for enhancing plant resilience to abiotic stresses in the context of climate change. Functional & integrative genomics, 23(3), 283.

Kirschner, G. K., Hochholdinger, F., Salvi, S., Bennett, M. J., Huang, G., Bhosale, R. A., (2024). Genetic regulation of the root angle in cereals. Trends in Plant Science, 29(7), 814-822.

Kumar, A., Muthuramalingam, P., Kumar, R., Tiwari, S., Verma, L., Park, S., Shin, H., (2025). Adapting crops to rising temperatures: Understanding heat stress and plant resilience mechanisms. International Journal of Molecular Sciences, 26(21), 10426.

Kumar, M., Prusty, M. R., Pandey, M. K., Singh, P. K., Bohra, A., Guo, B., Varshney, R. K., (2023). Application of CRISPR/Cas9-mediated gene editing for abiotic stress management in crop plants. Frontiers in Plant Science, 14, 1157678.

Li, C., Camac, J., Robinson, A., Kompas, T., (2025). Predicting changes in agricultural yields under climate change scenarios and their implications for global food security. Scientific Reports, 15(1), 2858.

Minaev, B. P., Sakhno, T. V., Panchenko, O. O., Sakhno, Y. E., (2024). Spin-Orbit Interaction During the Activation of Molecular Oxygen by Oxidases and Cofactor-Free Oxygenases: A Review. Theoretical and Experimental Chemistry, 60(2), 91-107.

Mishra, A. K., Mishra, S., Gupta, S., Tiwari, S., (2025). Decoding plant metabolomics: integrative insights into metabolic regulation. Theoretical and Experimental Plant Physiology, 37(1), 37.

Mishra, G., (2025). Revolution and advances in gene editing and genomics technology for developing climate-resilient legume crops: developments and prospects. Plant Molecular Biology, 115(5), 106.

Mukherjee, A., Dwivedi, S., Bhagavatula, L., Datta, S., (2023). Integration of light and ABA signaling pathways to combat drought stress in plants. Plant cell reports, 42(5), 829-841.

Nazir, F., Peter, P., Gupta, R., Kumari, S., Nawaz, K., Khan, M. I. R., (2024). Plant hormone ethylene: A leading edge in conferring drought stress tolerance. Physiologia plantarum, 176(1), e14151.

Peláez-Vico, M. Á., Fichman, Y., Zandalinas, S. I., Van Breusegem, F., Karpiński, S. M., Mittler, R. , (2022). ROS and redox regulation of cell-to-cell and systemic signaling in plants during stress. Free Radical Biology and Medicine, 193, 354-362.

Peralta Ogorek, L. L., Jiménez, J. D. L. C., Visser, E. J., Takahashi, H., Nakazono, M., Shabala, S., Pedersen, O., (2023). Outer apoplastic barriers in roots: prospects for abiotic stress tolerance. Functional Plant Biology, 51(1), FP23133.

Perrella, G., Bäurle, I., van Zanten, M., (2022). Epigenetic regulation of thermomorphogenesis and heat stress tolerance. New Phytologist, 234(4), 1144-1160.

Petrov, M., Nikolaeva, Z., Dimitrov, A., (2023). The impact of anthropogenic activity on the global environment. Science. Business. Society., 8(2), 59-64.

Qu, C., Hou, Y., Lv, X., Li, H., (2026). The research progress and future directions of genome editing for crop heat tolerance improvement. Advances in Resources Research, 6(1), 1-30.

Ramachandran, P., Ramirez, A., Dinneny, J. R., (2025). Rooting for survival: how plants tackle a challenging environment through a diversity of root forms and functions. Plant Physiology, 197(1), kiae586.

Rao, M. J., Duan, M., Zhou, C., Jiao, J., Cheng, P., Yang, L., ... Zheng, B., (2025). Antioxidant defense system in plants: reactive oxygen species production, signaling, and scavenging during abiotic stress-induced oxidative damage. Horticulturae, 11(5), 477.

Ravi, B., Foyer, C. H., Pandey, G. K., (2023). The integration of reactive oxygen species (ROS) and calcium signalling in abiotic stress responses. Plant, Cell & Environment, 46(7), 1985-2006.

Raza, A., Charagh, S., García-Caparrós, P., Rahman, M. A., Ogwugwa, V. H., Saeed, F., Jin, W., (2022). Melatonin-mediated temperature stress tolerance in plants. GM Crops & Food, 13(1), 196-217.

Rivas, M. Á., Friero, I., Alarcón, M. V., Salguero, J., (2022). Auxin-cytokinin balance shapes maize root architecture by controlling primary root elongation and lateral root development. Frontiers in Plant Science, 13, 836592.

Saber Sichani, A., Ranjbar, M., Baneshi, M., Torabi Zadeh, F., Fallahi, J., (2023). A review on advanced CRISPR-based genome-editing tools: base editing and prime editing. Molecular Biotechnology, 65(6), 849-860.

Sakthivel, K., Balasubramanian, R., Sampathrajan, V., Veerasamy, R., Appachi, S. V., KK, K., (2025). Transforming tomatoes into GABA-rich functional foods through genome editing: A modern biotechnological approach. Functional & Integrative Genomics, 25(1), 27.

Sharma, R., Sharma, P., (2023). Role of Abscisic acid in plant stress. In New insights into phytohormones. IntechOpen.

Singh, A., Roychoudhury, A., (2023). Abscisic acid in plants under abiotic stress: crosstalk with major phytohormones. Plant cell reports, 42(6), 961-974.

Singh, A., Mehta, S., Yadav, S., Nagar, G., Ghosh, R., Roy, A., ... Singh, I. K., (2022). How to cope with the challenges of environmental stresses in the era of global climate change: An update on ROS stave off in plants. International Journal of Molecular Sciences, 23(4), 1995.

Staacke, T., Mueller-Roeber, B., Balazadeh, S., (2025). Stress resilience in plants: the complex interplay between heat stress memory and resetting. New Phytologist, 245(6), 2402-2421.

Sultana, R., Imam, Z., Kumar, R. R., Banu, V. S., Nahakpam, S., Bharti, R., ... Siddiqui, M. W., (2025). Signaling and defence mechanism of jasmonic and salicylic acid response in pulse crops: role of WRKY transcription factors in stress response. Journal of Plant Growth Regulation, 44(1), 5-21.

Wang, Z., Weltmann, K. D., Bekeschus, S., Wende, K., (2026). Biomolecular mass spectrometry in plasma medicine. Journal of Physics D: Applied Physics, 59(2), 023003.

Waseem, M., Hasan, M. M., Hazzazi, Y., Alharbi, B. M., Ghani, M. U., Ahmad, P., Carriquí, M., (2025). Potential mechanisms for the rapid post-drought reversal of ABA-induced stomatal closure by melatonin, 5-aminolevulinic acid, and brassinosteroids. Photosynthetica, 63(2), 104.

Yetgin, A., (2024). Exploring the dynamic nature of root plasticity and morphology in the face of changing environments. Ecological Frontiers, 44(1), 112-119.

Zheng, L., Hu, Y., Yang, T., Wang, Z., Wang, D., Jia, L., ... Han, Y., (2024). A root cap-localized NAC transcription factor controls root halotropic response to salt stress in Arabidopsis. Nature Communications, 15(1), 2061.

DETERMINATION OF HABITAT USE PREFERENCES of RED DEER in KUTAHYA TÜRKMENBABA WILDLIFE DEVELOPMENT AREA

Zafer YILDIZ[1], Nuri Kaan ÖZKAZANÇ[2]

[1]Forest Engineer, Kütahya Provincial Directorate of Nature Conservation and National Parks, Wildlife, Kütahya,Türkiye, Orcid: 0009-0001-1667-3010

[2]Bartın University, Faculty of Forestry, Wildlife, Kütahya,Türkiye, Orcid: 0000-0001-7098-447X

Abstract

Many wild animals, including red deer, are experiencing significant population losses due to habitat degradation resulting from increasing human activities. The conservation of these species and their healthy transmission to future generations is only possible through their protection in their natural habitats. Understanding the habitat choices and habitat usage characteristics of red deer is crucial for sustainable species conservation. In our studies conducted in the Türkmenbaba Wildlife Reserve, an important habitat for red deer in our country, the habitat preferences of the species in the area were determined using the camera trap method. As a result of the observations and evaluations, observations were made in the area with approximately 4160 camera trap days over a period of about one year. During this period, a total of 985 images were obtained from camera traps, including 594 photographs and 391 videos. These images and the location characteristics of the camera traps were evaluated. As a result of the evaluations, it was determined that there is a total of 250 red deer individuals in the study area, 114 of which are male and 136 are female or young individuals. According to the results obtained, it was determined that the red deer prefer mixed forests of Scots pine-Pinus pine and Scots pine-Beech in terms of stand characteristics in their habitat selection. Red deer, which have their best distribution between 1500 and 1600 meters in the study area, were quite active in the field, reaching their highest mobility between August and November. Furthermore, the daily activity of red deer begins at 19:00 and continues throughout the night, reaching its lowest level at 08:00 in the morning. The most significant threats to the species in the study area were identified as poaching and habitat degradation.

Keywords: Red deer, habitat, preference, Türkmenbaba

1. Introduction

Wild animals are one of the most fundamental and important elements of both biological diversity and the ecosystems in which they live (Özkazanç et al. 2017). Biological diversity, which can be defined as the entirety of biological communities or the distribution areas of species, is evaluated in three different ways, such as species diversity, genetic diversity, and ecosystem diversity (Primack, 2014). Habitat, which refers to the characteristic space and environment in which an organism or species lives, is one of the most influential variables on biological diversity. A habitat consists of three main elements: the spatial structure that constitutes it and the abiotic and biotic environment that affects this structure (Sevgi, 2016). Habitat degradations that threaten biological diversity stem from many factors, such as habitat loss, habitat fragmentation, environmental pollution, global climate change, overuse of resources, invasive alien species, the spread of diseases, and increasing human population

(Primack, 2014). In this context, for the conservation and sustainability of biological diversity, habitats must be protected. The types and characteristics of habitats used by species must be very well known in order to ensure this protection. Thus, by developing a suitable habitat model, all biodiversity elements using that habitat model can be ensured to grow healthier in a more suitable environment.

Habitat choices of wild animals are influenced by several external factors, including feeding, food abundance and quality, nesting, mating and birth, territories, vegetation, and natural enemies (Ruble and Gamo, 2011). A suitable habitat for a wild animal should not only include various functional components but also meet a range of needs for survival and reproduction. The lack of integration of resource requirements in habitats is a major problem for most wild animals. For example, a perfect feeding environment may be a very poor escape or resting environment (Yankuo et al., 2008). In addition, the decrease in habitat quality due to snow, cold, or extreme temperatures, and the reduction of food and vegetation, cause forced migrations in many species (Amor, 2019).

Turkey, hosting 171 mammal, 510 bird, and 170 reptile and amphibian species due to its geographical structure, location, and habitat characteristics, possesses a rich biodiversity (URL 1, URL 2, URL 3). However, due to various factors, the degradation of ecosystems and habitats is causing a gradual decline in the populations of these species (Özkazanç and Kurdoğlu, 2023). Rehabilitating degraded ecosystems is a difficult and lengthy process, and incorrect rehabilitation methods, or those not tailored to the species' needs, can even be harmful. This further emphasizes the importance of understanding the habitat preferences of each species.

In this context, determining the habitat preferences of the red deer (*Cervus elaphus* L.), a native species of our country, is necessary for sustainable conservation. Although the red deer is categorized as LC (least risk) on the IUCN Red List and its population is shown to be increasing, it is known that the population of the species is declining in many countries. In fact, it became completely extinct in Morocco at the beginning of the 20th century (URL 4). Süel and Ercan (2019) report that the red deer population in our country is quite low, and that the populations have decreased considerably in the countries of Eastern Europe, the Middle East and Asia, which are its natural distribution areas, and that studies should be carried out on the population and habitats in every area where the species is distributed. The red deer population in our country is estimated to be approximately 5,000 (URL 1).

The red deer (*Cervus elaphus* L.), belonging to the Mammalia class, Artiodactyla order, and Cervidae family, is the second largest terrestrial mammal in our country. This species, with an average height of 265 cm, a height at the withers of 150 cm, and a tail length of 22 cm, can reach a weight of 200-300 kg (Demirsoy, 1996). The forked antlers, found only in males and shed in March-April, can grow up to 110-150 cm (URL 1). The antlers, which regrow in June, fully harden in August. The fur, reddish-brown in summer, turns gray-brown in winter. The belly is lighter in color and merges with the lighter-colored patch on the tail. During winter and mating season, males develop a long mane around their necks (Demirsoy, 1996) (Figure 1). Females are thinner and smaller than males and do not possess horns. Young individuals have white spots on their fur that disappear over time (Çanakçıoğlu and Mol, 1996).

The breeding period begins at the end of September, and the gestation period is 252 days. Females separate from the herd during pregnancy and live alone approximately 10-15 days after giving birth. They give birth to one -rarely two- offspring, which reaches sexual maturity in 1.5 years. In the wild, they can live between 12 and 20 years (Çanakçıoğlu and Mol, 1996). They are distributed throughout Europe, except for parts of Italy and Northern Europe, and in Turkey, along central and northern Anatolia. They are found in localized areas in Denizli,

Antalya, and Hatay. In the east, they have been observed in Tunceli, Bingöl, Kars, and Hakkari (URL 1-2).

Figure 1. An adult male red deer (Photo: Zafer Yıldız)

They live in open, sparsely populated forest areas with grasslands at altitudes up to 3000 meters above sea level. Their habitats are preferably grasslands surrounded by pure coniferous or mixed forests at the upper limit of the forest (URL 1). Red deer are observed to prefer open areas, especially in dense forest areas, within homogeneous forest stands (Ruble and Gamo, 2011). Studies conducted in different regions regarding the habitat choices of red deer have shown that the species' habitat preferences vary regionally.

Cervus elaphus xanthopygus, a variety of red deer, prefers broadleaf and clear stands at low than 200-300 meters altitudes and 600-700 meters from roads in the Wandashan Mountains of China for feeding and resting (Yankuo et al. 2008). In contrast, in the Lawrence Ecotonal Forest Region of Canada, red deer consistently prefer broadleaf stands throughout the year, while they use coniferous stands less frequently. This preference is likely related to climatic conditions and food preferences, and it has been determined that the habitat choices of red deer in this area differ significantly from those in other regions (Popp et al. 2013). Especially during the winter season, the habitat preferences of red deer are influenced by the distance of their habitats from highways, villages, forest roads, and forest edges, as well as altitude and slope. For example, red deer in the Gogostaihanwula Nature Reserve in Inner Mongolia prefer low-altitude, gently sloping areas close to the forest edge at relatively gently sloping and wide area forests (Sun et al., 2020). Unlike their normal habitat uses, red deer utilize shrublands and grasslands in coniferous and deciduous forests for protection, seeking refuge from adverse weather conditions, human activities, or predators such as wolves. Conversely, they are far less likely to prefer small agricultural lands subject to human intervention and livestock pressure (Carvalho et al. 2012). It is emphasized that the habitat selection of red deer in the Helen Mountains of China varies greatly seasonally, with seasonal movements between high and low altitudes, and that changes in food availability, mountain topography, and competition with other species play a role in this (Zhang et al. 2013).

Spatial familiarity is very important in red deer's choice of habitat, breeding grounds, and feeding areas. Red deer on the eastern slopes of the Rocky Mountains in Alberta, Canada, prefer familiar places they have recently visited, indicating that spatial familiarity is important not only for large-scale processes such as habitat and territory selection, but also for smaller-scale habitat selection and foraging (Wolf et al. 2009). In contrast, changes in human land use are leading to changes in the habitat choices of red deer. Changing habitat conditions can cause some biological periods of red deer, such as mating, reproduction, and calving, to change seasonally (Amor et al. 2019). For example, in Soby, Denmark, at a former mining site identified as a habitat for red deer, researchers determined that the species' population was negatively impacted by humans and positively correlated with forage availability, tree cover, and average land elevation. Favorable basic conditions in the habitat, such as forage abundance and vegetation, have shown that red deer can re-establish themselves quite well in these types of former industrial areas. However, natural predators and human-induced disturbances, primarily hunting, will cause red deer to avoid these areas (Müller et al. 2017).

Another important variable influencing the habitat selection of red deer is population density. As population density increases, red deer can tend to utilize less preferred habitats more frequently (Pérez-Barbería et al. 2013).

Although there have been some studies on the biology and ecology of red deer in our country, studies, especially those concerning habitat selection, are insufficient.

It has been determined that red deer in Nurdağı, Gaziantep, use forested areas in the summer for hiding, resting, and protection from the sun, and open areas with fresh grass for feeding, while in winter they prefer forested areas for both hiding and feeding (Birecikligil et al., 2013). In Bolu Yedigöller National Park, it has been determined that the species prefers mixed stands of beech, coniferous and other deciduous trees, especially oaks, with 2-3 layers of canopy cover, and that they are distributed in the altitude zone between 500 and 1500 m (Beşkardeş 2016). In the Çatacık forests of Eskişehir studies have shown that environmental variables such as average annual temperature, slope, topographic position index, forest road density, and vegetation have an effect on the distribution of red deer. It was concluded that the species prefers forests with low slopes, low road density, and high canopy cover in this area (Oruç et al., 2017). In Afyon province, it was found that red deer mostly prefer forested areas with high shade, north-facing slopes, and areas far from settlements, but they do not prefer excessively steep areas (Ercan, 2019). In Kastamonu's Ilgaz Mountains, one of the important distribution areas of the red deer, it has been determined that the species is found in mixed stands of Scots pine and fir, furthest from settlements and with high canopy density, preferring areas with sparse forest clearings and concentrating on the edges of different habitat types (Oğul et al., 2022).

As these studies implicate, although red deer generally have habitat preference patterns, various external factors and variables can alter the species' habitat preferences. In this context, this study was conducted in the Türkmenbaba Wildlife Development Area, a very important distribution area for red deer in our country, with the aim of determining the habitat preferences of the species and the factors threatening these habitats.

2. Materials and Methods

2.1 Materials

To determine the habitat, use preferences of red deer in the study area, camera traps were used for indirect observations, and 10x42 binoculars and a 60x65 telescope were used for direct observations. Additionally, GPS was used to obtain and map the coordinates of the observation points.

2.2 Method

This study was conducted year-round, throughout all four seasons, between March 2024 and March 2025. The first phase involved determining the trial areas where camera traps would be installed. For this aim, the study included preliminary fieldwork on area and office work on existing forest stand maps. In the preliminary field studies involved searching for red deer tracks to identify potential habitats, feeding grounds, migration routes, nesting or resting areas for the species. Based on the data obtained from these studies, 32 different camera trap locations were determined according to variables such as stand type, vegetation characteristics, land use type, and altitude. The camera traps deployed in the field, were positioned 60-70 cm above the ground to provide a wide field of view. Each camera trap was set to take 3 photos and 30 seconds of video. GPS records were taken to ensure the location of each installed camera trap was not lost and was accurately transferred to digital maps. The camera traps were checked every 15 days in summer and every 30 days in winter, and the images obtained were transferred to a computer. The total number of days between the date of the first image taken and the date of the last image taken by each camera trap after its installation in the field was calculated to arrive at 4160 camera trap days, during which a total of 594 photographs and 391 video recordings were obtained. GPS data of the camera traps installed in the field are given in Table 1, and their satellite images are given in Figure 2.

Table 1 GPS data from camera traps.

No	East	North	Altitude (m)
1	266918,00	4369641,00	1513
2	267150,00	4369856,00	1524
3	267456,00	4369952,00	1518
4	267996,00	4370799,00	1527
5	268557,00	4370466,00	1469
6	268464,00	4370131,00	1502
7	270525,00	4368769,00	1552
8	269265,00	4367936,00	1586
9	268975,00	4369375,00	1663
10	271379,00	4376738,00	1544
11	270520,00	4378032,00	1549
12	268711,00	4370635,00	1482
13	269175,00	4367568,00	1616
14	271020,00	4377206,00	1586

No	East	North	Altitude (m)
17	270760,00	4377826,00	1546
18	271095,00	43766914,00	1591
19	271234,00	4376730,00	1550
20	271234,00	4376730,00	1550
21	268439,00	4368417,00	1634
22	269430,00	4375626,00	1403
23	268837,00	4376320,00	1429
24	271790,00	4371499,00	1609
25	272520,00	4369131,00	1648
26	271592,00	4368763,00	1503
27	272576,00	4371770,00	1655
28	272198,00	4372399,00	1650
29	268946,00	4368805,00	1622
30	269642,00	4370121,00	1677

15	271010,00	4377217,00	1584
16	270587,00	4376968,00	1535

31	270134,00	4371928,00	1504
32	267224,00	4372348,00	1436

Data obtained from field studies were digitized through office work. In this context, GPS records of the identified species were added into the GIS system and processed into existing databases. The stand type, altitude, orientation, and slope of each camera trap location were determined. A total of 985 images were examined in detail, and the number of individuals observed, the dates of observation, and the times of observation were extracted and processed into Excel. At this point, individuals recorded within each 30-minute time interval were considered as a single individual, thus preventing duplicate counts. Based on the data obtained, the preferred habitat and stand types of red deer, the altitudes at which they are distributed, and the time periods in which they are active were determined.

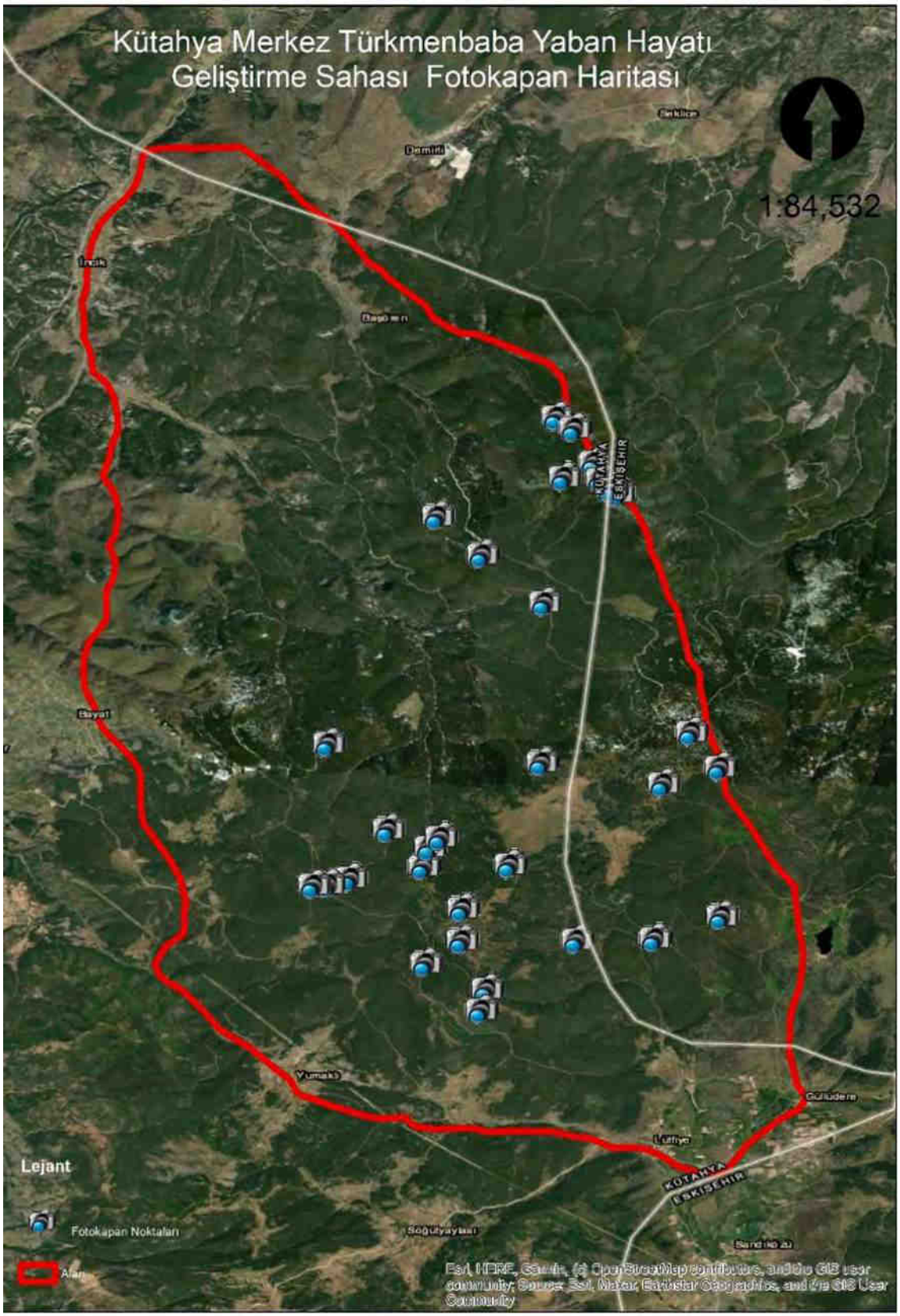


Figure 2. Satellite image of the camera traps installed in the study area.

2.3 Study Area

The Kütahya Türkmenbaba Wildlife Development Area, which is the study area, was declared a wildlife development area with an area of 11,888.48 hectares by the cabinet decree

published the Official Gazette dated 05.10.2006 and numbered 26310 due to the red deer population it harbors (Figure 3). 438 flowering plant species belonging to 246 genera, 2 frog species, 9 reptile species, and 32 mammal species have been identified in the area.

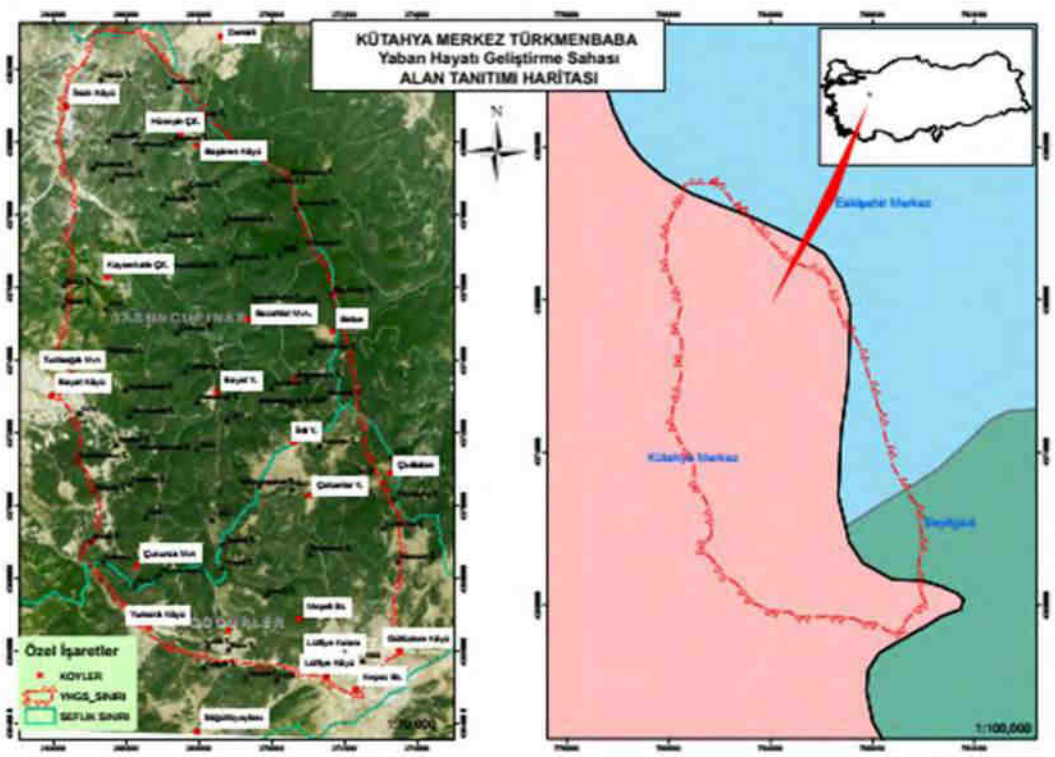


Figure 3. Status map of Türkmenbaba Wildlife Development Area.

3. Findings and Discussion

As a result of field and office studies conducted to determine the habitat use preferences of red deer in the Kütahya Türkmenbaba Wildlife Development Area, camera traps were installed at 32 different points in the area, reaching a total of 4160 camera trap days and recording a total of 985 different images, including 594 photographs and 391 videos. A detailed examination of all the obtained images revealed the presence of a total of 250 red deer individuals in the study area, 114 of which were male and 136 were female or juvenile.

Of these locations, camera trap number 17 has happened the highest number of red deer sightings, with a total of 72 individuals (42 females and 28 males). Photo trap number 15 came in second with 35 (19+16) individuals, while photo trap number 14 came in third with 25 (21+4) individuals. In the study area, where there were 7.8 individuals per camera trap, zero red deer were sighted at 8 locations (1, 2, 5, 18, 19, 27, 28, 31) and only one red deer was sighted at 6 locations (3, 4, 8, 11, 24, 32). While 2-10 red deer were observed at 13 locations (6, 7, 9, 11, 13, 16, 20, 21, 22, 23, 26, 29, 30), 14 individuals were observed at locations 10 and 25 (Figure 4). The difference in the number of red deer individuals at 32 locations with different habitat characteristics suggests that the species may be selective in its habitat use.

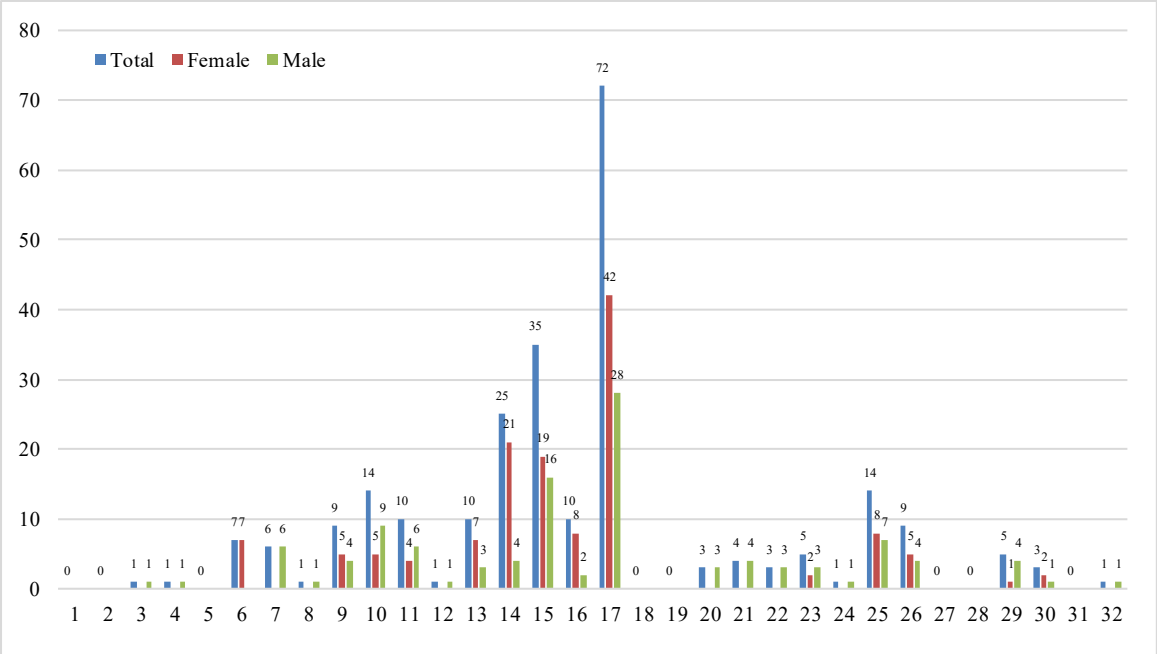


Figure 4. Distribution of detected red deer individuals according to camera traps.

When the data obtained were compared with the habitat characteristics of the locations where camera traps were set up, four distinct variables were identified as influencing red deer habitat use. These variables are forest type, altitude, season or month, and time of activity. In this context, the effects of each variable on red deer habitat use within the study area were examined individually.

Forest structure, or stand type, is one of the most important of the primary variables determining the habitat preferences of red deer. The study area consists mostly of pure and mixed pine forests, although deciduous species are also present in places. To determine the habitats preferred by red deer, 32 different camera trap points were plotted on a stand map to try and determine the species' stand preferences (Figure 5).

It has been determined that red deer prefer mixed stands at the study area. Data from camera traps installed in 14 different stand types revealed that the most preferred stand type was ÇkÇsc3 (Black pine-Scots pine mixed, c age class, 3 canopy cover), with 82 individuals. ÇsKnc3 (Scots pine-beech mixed, c age class, 3 canopy cover), with 70 individuals, ranked second, while Çsc3 (Scots pine pure, c age class, 3 canopy cover), with 33 individuals, came in third. Çsd1 (Scots pine pure, d age class, 1 canopy cover) (21 individuals) and ÇsÇkc3 (Scots pine-Black pine mixed, c age class, 3 canopy cover) (19 individuals) were the other most preferred stand types. In other stand types in the study area, the number of red deer was determined to be 10 or fewer.

In addition to tree mixture, other determining criteria for the preference of red deer for stand types were tree age classes and forest canopy cover. Specifically, stands with thin trees (class c) or trees with a diameter of 20-35.9 cm were preferred more than age classes a, b, and d. For example, in stands where Scots pine was pure (Cs), although the canopy cover was the same, 33 individuals were detected in age class c, while only 2 individuals were detected in older stands (d) (36-51.9 cm diameter). Another difference is noticeable in mixed stands of Scots pine and black pine. In mixtures where black pine is dominant, red deer are significantly more numerous (Figure 6).

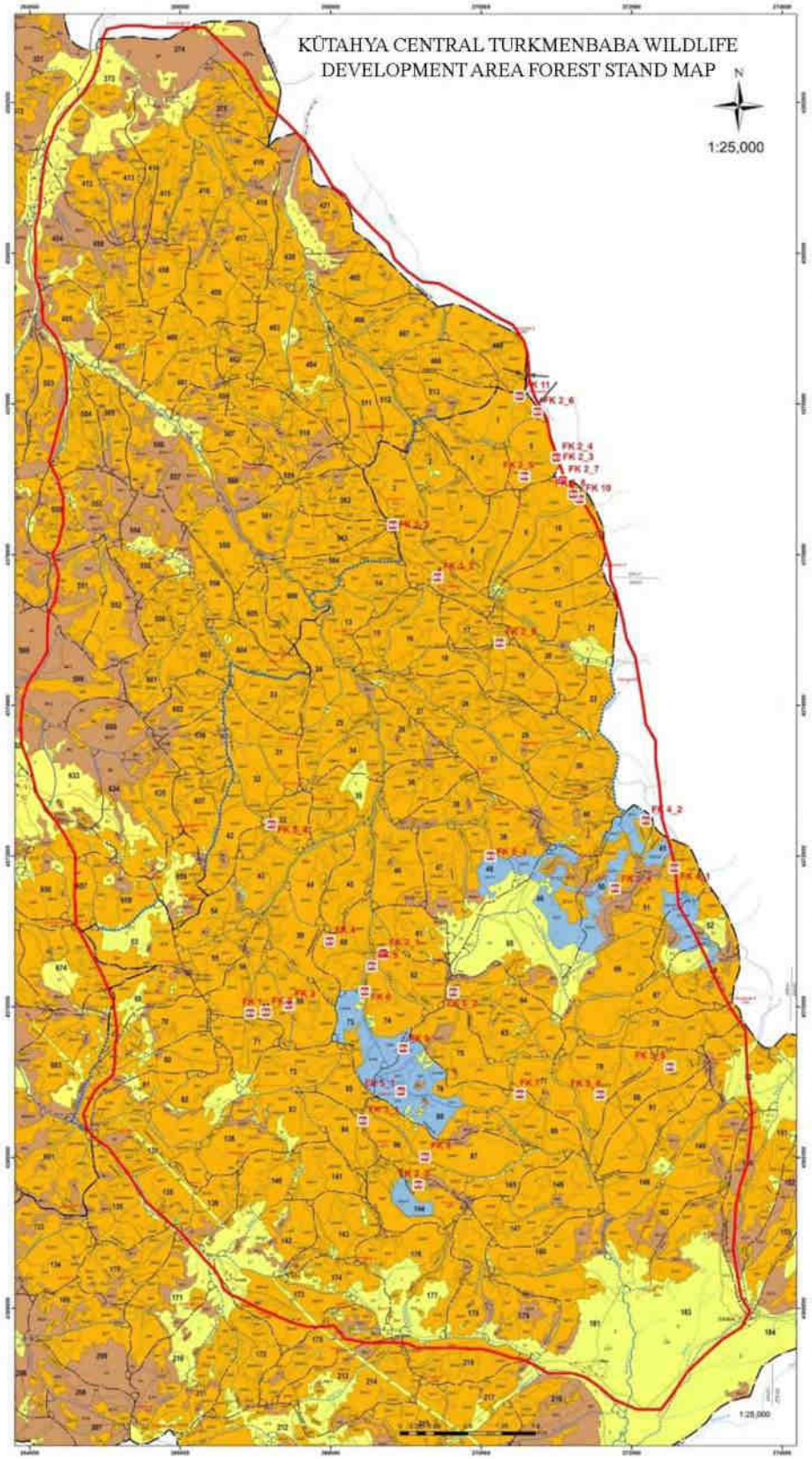


Figure 5. Forest stand map of the study area and distribution of camera traps in the area.

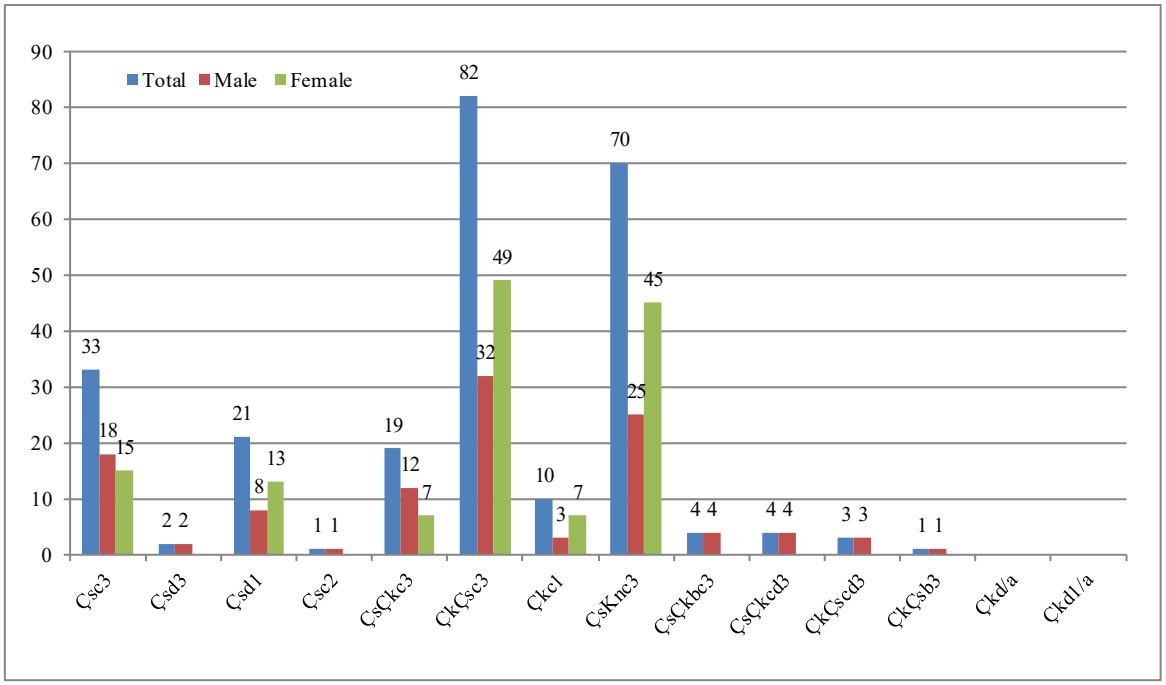


Figure 6. Distribution of identified red deer individuals according to stand type.

Based on the data we obtained, it is not possible to say definitively what effect forest canopy cover, which is different criterion for stand types, has on the habitat selection of red deer; since 10 out of 14 stand types have a canopy cover of 3, and there is no other data to compare. However, based on this data, we can say that the species is more abundant in dense stands. Beşkardeş (2016) identified 38% of the red deer in stands with a canopy cover of 2, while 62% were found in stands with a canopy cover of 3. In the same study, he reported that red deer preferred mixed stands at a rate of 81%. In contrast, Özkazanç et al. (2017) found the species most densely in degraded beech stands and mixed beech-fir stands.

The main reasons why red deer prefer mixed stands can be attributed to the abundance of food and the fact that these areas offer more suitable and numerous hiding and sheltering places. These types of stands provide red deer with protection, especially from harsh weather conditions. These characteristics are less common in pure forest stands.

Another factor influencing the habitat use preferences of red deer is altitude. Red deer, which live in open, sparsely forested areas with grasslands at altitudes up to 3000 meters above sea level, were detected at altitudes between 1400 and 1650 meters within the study area (Figure 7).

Observations made at varying altitudes of 50 meters starting from 1400 meters revealed that red deer were most densely distributed between 1500 and 1549 meters. 124 different red deer individuals were identified at this altitude level. The number of red deer individuals has decreased gradually with each increase of 50 meters above this altitude. 70 at 1550-1599 meters, 34 at 1600-1649 meters, and 12 at 1650-1700 meters were determined to be red deer. Below 1500 meters, only 10 red deer individuals were identified in total (Figure 8).

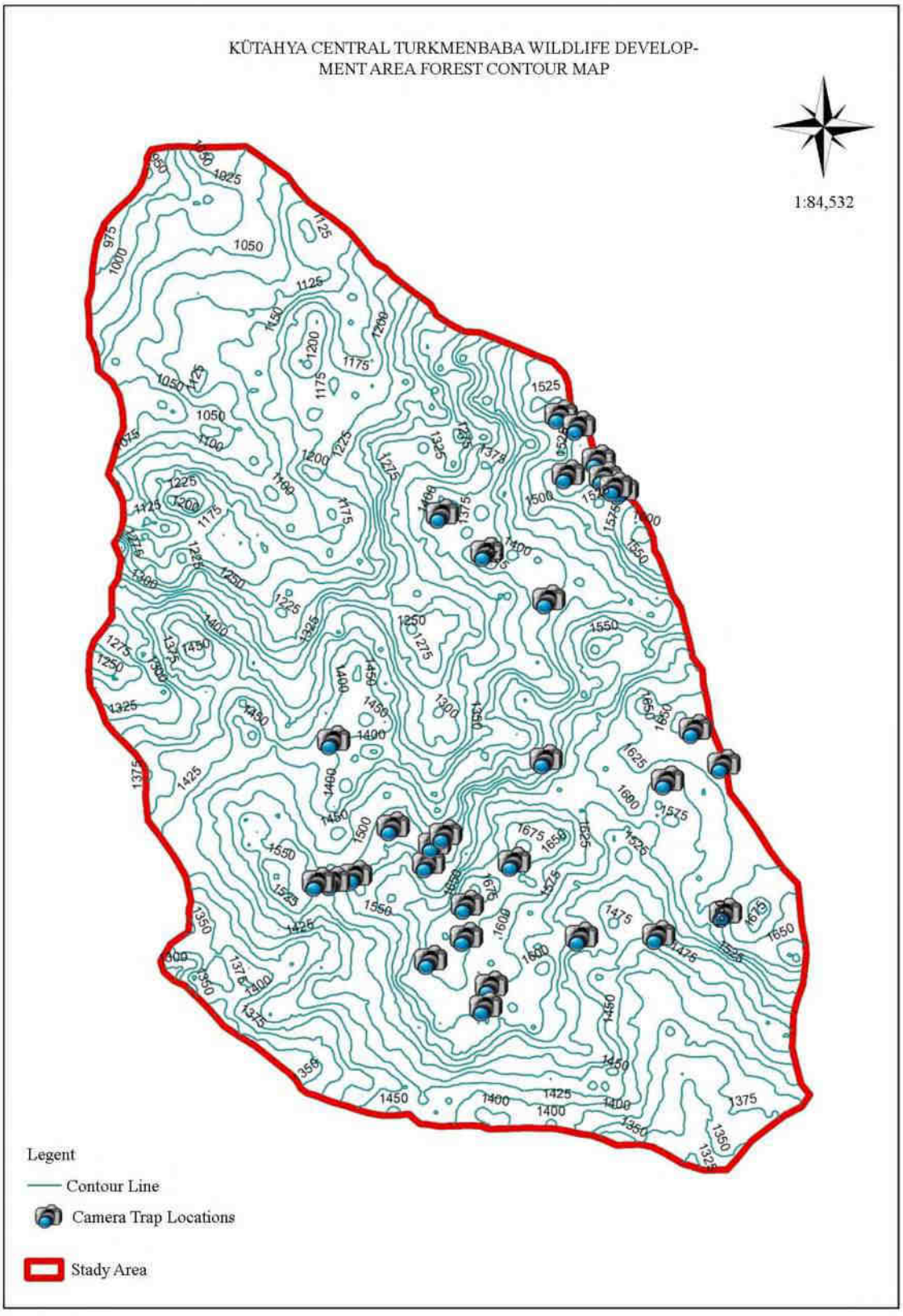


Figure 7. Locations where camera traps were installed according to altitude in the study area.

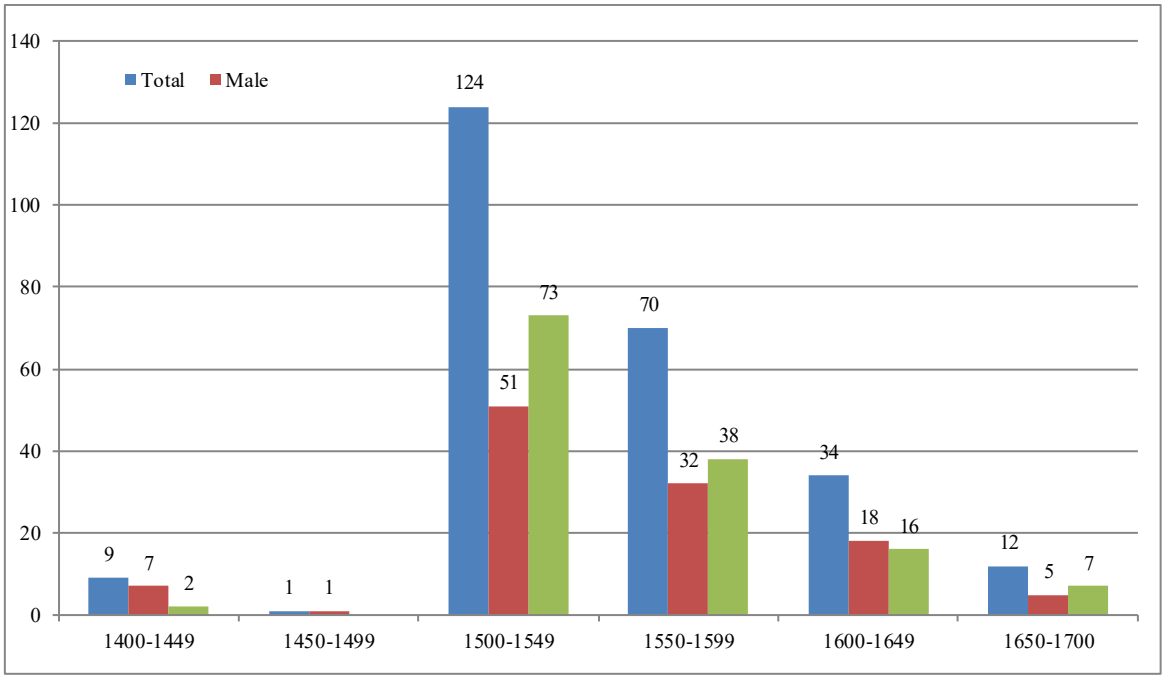


Figure 8. Distribution of identified red deer individuals according to altitude.

Essentially, the varying numbers of red deer depending on altitude are consistent with the types of stands found at these altitudes. Mixed forest stands at altitudes of 1500 to 1600 meters are the areas where red deer have the best distribution. Beşkardeş (2016) determined that 59% of the red deer he identified in Bolu Yedi Göller were between 1000 and 1500 meters and 41% were between 500 and 1000 meters, while Özkazanç et al. (2017) found the highest number at 1500-1600 meters, and did not encounter the species in areas below 1300 meters and above 1700 meters.

Another of the important criteria influencing the habitat use and habitat preferences of red deer are seasons or months. Like many wild animal species, red deer are less frequently seen during the winter months due to both reduced habitat comfort and food scarcity, while they are more active and observed in much larger numbers during the summer months, especially during mating seasons.

Our studies show that red deer were most frequently observed in October with 56 individuals. This was followed by observations in September with 51 individuals, in August with 44, and in May with 32. After November, when 29 individuals were seen, the number of red deer began to decrease. This decrease continued until May. While 14 red deer were detected in January, the number of red deer observed in the region during the other months of the year ranged between 1 and 8 individuals. Özkazanç et al. (2017) found from their study that red deer's monthly activity begins in July, reaches its peak in September, and completely decreases after November.

Looking at it on a seasonal scale, a total of 18 individuals were observed in winter (December, January and February); 47 in spring (March, April and May); 49 in summer (June, July and August); and 136 in autumn (September, October and November) (Figure 9).

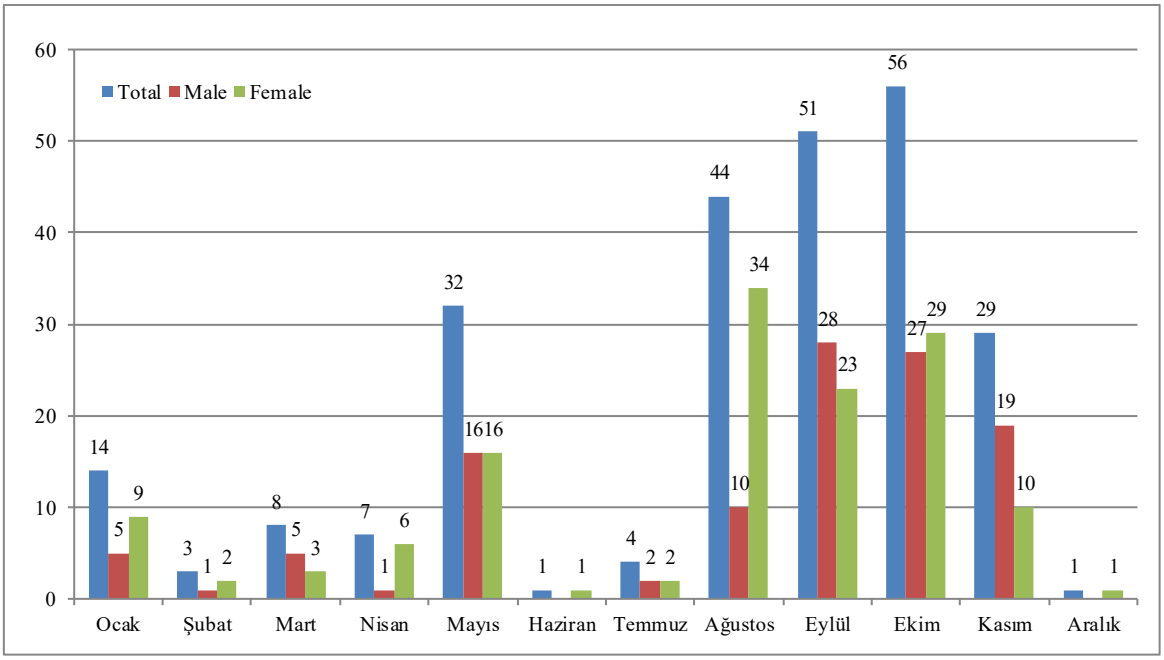


Figure 9. Distribution of identified red deer individuals by month.

The increased activity of red deer, starting in August and continuing through September, October, and November, which is their mating season, has led to more sightings of the species by camera traps during this period. However, the shedding of antlers by male red deer, starting in late February and continuing into March, has resulted in fewer sightings. This is because male red deer tend to shed their antlers more often in lower-altitude agricultural areas. The fact that these agricultural areas are outside the scope of the study and that observations are not made in these locations is the main reason for the low number of individuals observed during this period. Following the antler shedding period, red deer return to the forest in May, increasing the number of sightings. During the breeding season in June and July, red deer move to denser and more sheltered areas of the forest to protect their fawns, resulting in fewer sightings by camera traps during these months. After July, with the increase in herd participation, the number of individuals sighted has also increased.

Another important factor in the habitat uses and preferences of red deer is their daily activity hours. Our studies have shown that the daily activity of red deer accelerates at sunset, reaches its peak after midnight, and decreases at sunrise, reaching its lowest levels during the day. The highest number of red deer sightings, totaling 21 individuals, occurred between 03:00 and 03:59. 20 individuals were recorded between 19:00 and 19:59, and 18 individuals between 02:00 and 02:59. Of the 250 red deer individuals identified in total, 165 were observed between 19:00 and 06:59, and the remaining 85 individuals were observed between 07:00 and 18:59 (Figure 10).

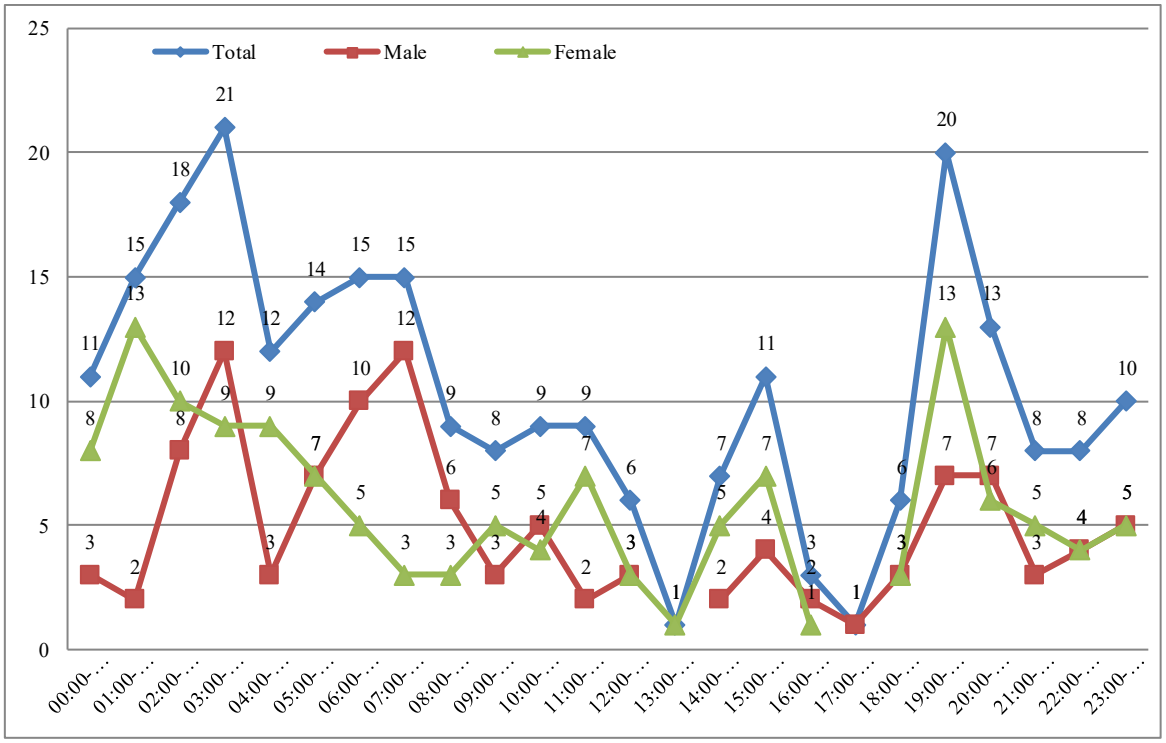


Figure 10. Distribution of detected red deer individuals by time of day.

4. Results and Suggestions

In conclusion, this study, conducted to determine the habitat use preferences of red deer in the Kütahya Türkmenbaba Wildlife Development Area, revealed that the area is a suitable habitat for red deer and that various variables may influence their habitat choices.

In this context, the most important variable in the species' habitat preferences appears to be stand type. Red deer mostly prefer mixed stand types in the study area, but they particularly prefer mixed stands of Scots pine and dominant black pine, and mixed stands of beech and dominant Scot pine. Furthermore, age class C was the most frequently preferred criterion. In addition, the three-fold canopy closure, common in almost all stands in study area, emerged as the most preferred stand characteristic by the species.

Another important variable influencing the habitat preferences of red deer is altitude. According to this variable, altitudes between 1500 and 1549 meters are the altitude ranges where the species is most frequently observed. As altitude increases, the population of the species gradually decreases, and this decrease is more severe in low altitude.

Seasons are a significant variable influencing the distribution and activity of red deer in their habitats. Red deer activity, which begins in late summer, reaches its peak in September and October. The decline starting in November continues throughout the winter, reaching its lowest levels. Activity, which remains relatively low throughout spring and summer, begins to increase again in August.

Red deer, like many other mammals, are nocturnal feeders who rest in safe places during the day. Therefore, their daily activity begins at sunset, reaches its highest level at nightfall, and decreases again at sunrise.

However, many wild animals, including red deer, are experiencing significant population losses due to habitat degradation resulting from increasing human activities. The conservation of these species and their healthy transmission to future generations is only possible through their protection in their natural habitats. Habitat conservation is paramount in this protection.

In this context, understanding and managing the habitat preferences of wild animals, including red deer, is absolutely essential for sustainable wildlife.

Forestry practices in protected areas, particularly those based on wildlife conservation such as wildlife reserves, should be carried out with the sustainability of the existing wildlife in mind. Functional forest management systems, in particular, should be established on this foundation.

Acknowledgment

This study was produced from the project titled "Determination of Habitat Use Preferences of Red Deer in Kütahya Türkmenbaba Wildlife Development Area", supported by the TÜBİTAK Science Human Resources Support Programs Directorate (BİDEB) under the 2209-A University Students Research Projects Support Program, 2nd period of 2023, with 1919B012321498 project number. We would like to express our gratitude to TÜBİTAK for their support.

References

Amor, J.M., Newman, R., Jensen, W.F., Rundquist, B.C., Walter, W.D., Boulanger, J.R. (2019). Seasonal home ranges and habitat selection of three elk (*Cervus elaphus*) herds in North Dakota. *PLoS ONE* 14(2):1-17. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211650

Beşkardeş, V. (2016). Yedigöller Yaban Hayatı Geliştirme Sahasındaki iri cüsseli memeli hayvanlar ve sonbahar dönemi habitat tercihleri. *Ormancılık Dergisi* 12(1):137-144

Birecikligil S., Çelekli F., Çelekli A., Çiçek E (2013). Karagöl mevkiinde (Nurdağı, Gaziantep) doğaya salınan kızıl geyik (*Cervus elaphus*)'ların izleme programı. *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt* 2(1) 26-33

Carvalho, J., Martins, L., Silva, J.P., Santos, J., Torres, R.T., Fonseca, C. (2012). Habitat suitability model for red deer (*Cervus elaphus* Linnaeus, 1758): spatial multi-criteria analysis with GIS application. *Galemys*, 24:47-56. https://doi.org/10.7325/Galemys.2012.A05

Çanakçıoğlu, H., Mol, T. (1996). *Yaban Hayatı Bilgisi*. İstanbul: İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları

Demirsoy, A. (1997). *Türkiye Omurgalıları-Memeliler*. Ankara: Meteksan

Ercan, M. (2019). *Akdağ (Afyon) yöresinde kızıl geyik (Cervus elaphus l.)' in habitat tercihleri*. Yüksek Lisans Tezi. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta Orman Mühendisliği Anabilim Dalı YL 61 s.

Müller, A., Dahm M., Bøcher, P.K., RootBernstein, M., Svenning, J.C. (2017). Large herbivores in novel ecosystems - Habitat selection by red deer (*Cervus elaphus*) in a former browncoal mining area. *PLoS ONE* 12(5):1-20. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177431

Oğul, A., Tuttu, U., Öner, M.N., Yorulmaz, T., Özcan, A.U. (2022). Ilgaz Dağı'nda farklı orman kuruluşlarındaki bazı yaban hayvanlarının (Classis: Mammalia) aktivitelerinin belirlenmesi. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi* 8(1): 29-36. https://doi.org/10.53516/ajfr.1097768

Oruç, M.S., Mert, A., Özdemir, İ. (2017). Modelling habitat suitability for red deer (*Cervus elaphus* L.) using environmental variables in Çatacık region, Eskişehir. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*. 1(2):135-142

Özkazanç N.K., Horasana, M., Ateşoğlu, İ. (2017). Bartın-Sökü Yaban Hayatı Geliştirme Sahasında fotokapan ile tespit edilen büyük memeli yaban hayvanları. *Journal of Bartin Faculty of Forestry*, 19(1), 290-300. https://doi.org/10.24011/barofd.309233

Özkazanç N.K., Kurdoğlu, O. (2023). Orman Yangınlarının Yaban Hayatı Üzerindeki Etkileri. A, Kavgacı, M.A. Başaran *Orman Yangınları* (442 s.) Ankara, Kurban Matbaacılık Yayıncılık

Pe´rez-Barberı ´a F. J., Hooper, R. J., Gordon, I. J. (2013). Long-term density-dependent changes in habitat selectionin red deer (*Cervus elaphus*). *Oecologia* 173:837-847. https://doi.org/10.1007/s00442-013-2686-8

Popp, J.N., McGeachy, D.N.C., Hamr, J. (2013). Elk (*Cervus elaphus*) seasonal habitat selection in a heterogeneous forest structure. *International Journal of Forestry Research* 2013(1), 1-7. https://doi.org/10.1155/2013/415913

Primack, R.B. (2014). Essentials of Conservation Biology. Oxford: Oxford University Press

Rumble, M.A., Gamo,R.S. (2011). Habitat use by elk (*Cervus elaphus*) within structural stages of a managed forest of the Northcentral United States. *Forest Ecology and Management* 261:958-964. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.12.005

Sevgi, O. (2016). Habitat terimi ve türevlerinin 22. ve 21. ulusal biyoloji kongrelerinde kullanımının değerlendirilmesi. *Avrasya Terim Dergisi* 4 (2):27-53

Sun, Y., Yu, Y., Guo, J., Zhang, M. (2020). The winter habitat selection of red deer (*Cervus elaphus*) based on a multi-scale model. *Animals* 10: 2454 https://doi.org/10.3390/ani10122454

Süel, H., Ercan, M. (2019). Akdağ (Afyon) yöresinde kızıl geyik (*Cervus elaphus* L.)'in habitat tercihleri. *Bilge International Journal of Science and Technology Research* 3(2):201-212. https://doi.org/10.30516/bilgesci.590310

URL 1 TRAMEM. https://www.tramem.org

URL 2 TRAKUS. https://www.trakus.org

URL 3 AdaMerOs Herptil Türkiye. http://www.turkherptil.org/Turkiyeden.asp

URL 4 IUCN. https://www.iucnredlist.org/species/55997072/142404453#geographic-range

Wolf, M., Frair, J., Merrill, E., Turchin, P. (2009). The attraction of the known: the importance of spatial familiarity in habitat selection in wapiti *Cervus elaphus*. *Ecography* 32:401410. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2008.05626.x

Yankuo, Li., Minghai, Z., Zhigang, J. (2008). Habitat selection by wapiti (*Cervus elaphus xanthopygus*) in Wandashan Mountains, China, based on habitat availability. *Acta Ecologica Sinica*, 28(10):4619-4628. https://doi.org/10.1016/S1872-2032(09)60001-9

Zhang, M., Liu, Z., Teng, L. (2013) Seasonal habitat selection of the red deer (*Cervus elaphus alxaicus*) in the Helan Mountains, China. *Zoologia* 30(1):24-34. https://doi.org/10.1590/S1984-46702013000100003

BAL ARISI YETİŞTİRİCİLİĞİNDE EKOLOJİK AYAK İZİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İLİŞKİSİ

Zeynep ASUTAY

Bitlis Eren Üniversitesi, Hizan Meslek Yüksekokulu Arıcılık, Bitlis, Türkiye, Orcid: 0000-0002-5854-1040

Özet

Bal arısı (Apis mellifera) yetiştiriciliği, hem geleneksel tarımsal bir faaliyet hem de ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesinde kritik bir rol üstlenmektedir. Arılar, bitkilerin tozlaşmasında başlıca aktörler olarak, küresel tarımsal üretimin yaklaşık üçte birine katkı sağlar ve biyolojik çeşitlilik, gıda güvenliği ile sürdürülebilir tarım sistemlerinin korunmasına hizmet eder. Bu nedenle arıcılık faaliyetleri, çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik boyutlarında çok yönlü bir öneme sahiptir.

Ekolojik ve karbon ayak izi kavramları, arıcılık sistemlerinin çevresel etkilerini değerlendirmede önemli göstergeler olarak öne çıkar. Yaşam Döngüsü Analizi çalışmaları, göçer ve sabit arıcılık sistemleri arasındaki farkları ortaya koymaktadır; göçer sistemlerde taşıma faaliyetleri nedeniyle karbon ayak izi 1,40–2,20 kg CO_2e/kg bal iken, sabit sistemlerde 0,38–0,48 kg CO_2e/kg bal arasında ölçülmüştür. Bu bulgular, ulaşım optimizasyonu, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı gibi stratejilerin çevresel performansı iyileştirmede kritik olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak, arıcılığın sağladığı pozitif çevresel etkiler, özellikle polinasyon hizmetleri, biyoçeşitlilik ve tarımsal verim artışı, sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde göz ardı edilmemelidir. Polinasyon hizmetlerinin Yaşam Döngüsü Analizlerine dahil edilmesi durumunda, arıcılık faaliyetlerinin net çevresel etkisinin pozitif yönde değişebileceği ortaya konmuştur. Ayrıca, ekosistem odaklı yönetim, sağlıklı flora seçimi, pestisit kullanımının sınırlandırılması ve biyolojik mücadele yöntemlerinin uygulanması, hem arı sağlığını hem de üretim verimliliğini desteklemektedir. Sonuç olarak, bal arısı yetiştiriciliği, uygun planlama ve yönetimle çevresel etkileri minimize edilebilen ve sürdürülebilir ekosistem hizmetleri sağlayan bir tarımsal faaliyet olarak öne çıkmaktadır. Gelecekte polinasyon hizmetlerinin nicel olarak çevresel analizlere entegre edilmesi ve bölgesel karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Analizi çalışmalarının artırılması, sürdürülebilir arıcılık politikalarının geliştirilmesine önemli katkılar sunacaktır.

Anahtar kelimeler: Bal arısı, sürdürülebilirlik, ekolojik ayak izi, karbon ayak izi, polinasyon, yaşam döngüsü analizi

Giriş

Bal arısı (Apis mellifera) yetiştiriciliği, dünya genelinde geleneksel bir tarımsal faaliyet olmasının yanı sıra ekosistem hizmetlerinin sürdürülmesinde temel bir role sahiptir. Arılar, bitkilerin tozlaşmasını sağlayan başlıca organizmalar arasında yer almakta olup, küresel ölçekte yetiştirilen tarımsal ürünlerin yaklaşık %75'inin tozlaşmasında hayati katkı sundukları bildirilmektedir (Klein et al., 2007). Bu nedenle arı popülasyonları yalnızca bal üretimi açısından değil, aynı zamanda gıda güvenliği, biyolojik çeşitlilik ve sürdürülebilir tarım sistemlerinin devamlılığı açısından da kritik öneme sahiptir (Potts et al., 2016).

Arıcılık faaliyetleri çevresel, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç temel sürdürülebilirlik boyutunda değerlendirilmektedir. Bu kapsamda arılar, bal ve diğer arı ürünleri (polen, propolis, balmumu vb.) aracılığıyla ekonomik değer üretmenin yanı sıra, sundukları ekosistem hizmetleri sayesinde çevresel dengenin korunmasına da katkıda bulunmaktadır. Nitekim Hükümetler Arası Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri Platformu (IPBES), dünya genelinde milyonlarca arı kolonisinin tarımsal üretime önemli düzeyde katkı sağladığını ve polinasyon hizmetlerinin sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından kritik olduğunu vurgulamaktadır (IPBES, 2016).

Arıların sunduğu ekosistem hizmetleri içerisinde özellikle tozlaşma hizmeti, tarımsal üretkenlik ve biyolojik çeşitliliğin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Polinasyonun bitkisel üretim üzerindeki etkisi yalnızca verim artışı ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ekosistem işlevlerinin devamlılığını da doğrudan etkilemektedir (Garibaldi et al., 2013). Bu bağlamda sürdürülebilir arıcılık, üretim süreçlerinin çevresel etkilerini azaltmayı ve arı popülasyonlarının uzun vadede korunmasını amaçlayan bütüncül yaklaşımları içermektedir.

Bununla birlikte, arıcılık faaliyetlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde yalnızca ekonomik çıktılar yeterli olmamaktadır. Ekolojik ayak izi ve karbon ayak izi kavramları, üretim sistemlerinin çevre üzerindeki toplam etkisini ortaya koyan önemli göstergeler arasında yer almaktadır. Ekolojik ayak izi, doğal kaynak tüketimini ölçerken; karbon ayak izi, üretim süreçleri sonucu ortaya çıkan sera gazı emisyonlarını değerlendirmektedir (Wackernagel & Rees, 1996; Wiedmann & Minx, 2008). Bu göstergelerin arıcılık sistemlerine uygulanması, sürdürülebilir üretim modellerinin geliştirilmesi açısından önemli bir analitik çerçeve sunmaktadır.

Son yıllarda gerçekleştirilen yaşam döngüsü analizi (LCA) çalışmaları, özellikle göçer ve sabit arıcılık sistemlerinin çevresel etkileri arasında belirgin farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Göçer arıcılıkta koloni taşımacılığına bağlı olarak yakıt tüketimi ve dolayısıyla karbon ayak izi artarken, sabit arıcılık sistemlerinde enerji kullanımının optimize edilmesi ile çevresel etkilerin daha düşük seviyede tutulabildiği bildirilmektedir (Mungkung et al., 2020). Bu bulgular, sürdürülebilir arıcılık uygulamalarının geliştirilmesinde ekolojik ve karbon ayak izi analizlerinin önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Bu derleme çalışması, bal arısı yetiştiriciliğinde ekolojik ayak izi ile sürdürülebilirlik arasındaki ilişkiyi mevcut bilimsel literatür çerçevesinde değerlendirmeyi amaçlamakta; arıcılığın çevresel etkilerinin ölçülmesi, ekosistem hizmetlerinin ortaya konulması ve sürdürülebilir yönetim stratejilerinin geliştirilmesine yönelik kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadır.

2. Arıcılık ve Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik, çevresel, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla üretim sistemlerinin uzun vadede korunmasını ve geliştirilmesini ifade etmektedir (United Nations, 2015). Arıcılık faaliyeti, bu üç boyuta aynı anda katkı sağlayabilmesi nedeniyle sürdürülebilir tarım ve kırsal kalkınma sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (FAO, 2018).

2.1. Çevresel Boyut

Bal arıları (Apis mellifera), küresel ölçekte sağlanan ekosistem hizmetleri içerisinde polinasyonun en önemli aktörleri arasında yer almaktadır. Yapılan değerlendirmeler, hayvan kaynaklı tozlaşmanın ekosistem hizmetleri içindeki payının büyük bir kısmını oluşturduğunu ve bunun önemli bölümünün arılar tarafından sağlandığını ortaya koymaktadır (IPBES, 2016). Bu hizmet, bitkisel üretimde verim artışını doğrudan etkilerken, doğal ekosistemlerin sürdürülebilirliğinin korunmasında da kritik rol oynamaktadır (Garibaldi et al., 2013).

Polinasyon hizmeti; tarımsal ürünlerin verim, kalite ve çeşitliliğini artırmakta, biyolojik çeşitliliğin devamlılığını desteklemekte ve ekosistem dengesinin sürdürülmesine katkı sağlamaktadır (Klein et al., 2007). Ayrıca, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre dünya genelinde yetiştirilen bitkisel ürünlerin yaklaşık üçte biri doğrudan hayvan kaynaklı tozlaşmaya bağlıdır (FAO, 2018). Bu bağlamda arıcılık, yalnızca bal üretimi ile sınırlı kalmayıp, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri açısından da kritik bir öneme sahiptir.

2.2. Ekonomik Boyut

Arıcılık sektörü; bal, polen, propolis, balmumu ve arı sütü gibi ürünler aracılığıyla önemli bir ekonomik değer yaratmaktadır. Bununla birlikte arıcılık, özellikle kırsal bölgelerde düşük yatırım maliyeti ile gelir çeşitlendirmesi sağlayarak yerel ekonomilere katkıda bulunmaktadır (Bradbear, 2009).

Ayrıca arıcılık faaliyetleri, polinasyon yoluyla tarımsal üretimde verim artışı sağlayarak dolaylı ekonomik faydalar da sunmaktadır. Bu durum, hem yerel pazarların gelişimini desteklemekte hem de tarımsal gelirlerin artmasına katkı sağlamaktadır (Gallai et al., 2009). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde arıcılık, kırsal kalkınma ve sürdürülebilir ekonomik büyüme açısından önemli bir faaliyet alanı olarak değerlendirilmektedir (FAO, 2018).

2.3. Sosyal Boyut

Arıcılık, kırsal kalkınmanın desteklenmesi ve geleneksel üretim kültürünün sürdürülmesi açısından önemli bir role sahiptir. Kuşaktan kuşağa aktarılan bilgi ve deneyim birikimi, arıcılığın kültürel sürdürülebilirliğini güçlendirmektedir (Bradbear, 2009).

Arı ürünlerinin sağlık alanındaki kullanımı da sosyal boyut açısından dikkat çekicidir. Özellikle bal ve propolis gibi ürünlerin antioksidan ve antimikrobiyal özelliklere sahip olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Bastos et al., 2011). Bu durum, arı ürünlerinin bireylerin yaşam kalitesine katkı sağlamasına olanak tanımaktadır.

Bunun yanı sıra arıcılık, kırsal alanlarda istihdam oluşturarak toplumsal refahı artırmaktadır. Özellikle kadın kooperatifleri ve aile işletmeleri aracılığıyla yürütülen arıcılık faaliyetleri, toplumsal cinsiyet eşitliği ve ekonomik katılım açısından da önemli katkılar sunmaktadır (FAO, 2018).

2.4. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA'lar) ile İlişki

Arıcılık faaliyetleri, Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ile doğrudan ilişkilidir. Arıların sağladığı ekosistem hizmetlerinin; SKA 1 (Yoksulluğa Son), SKA 2 (Açlığa Son), SKA 3 (Sağlık ve Kaliteli Yaşam), SKA 8 (İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme), SKA 12 (Sorumlu Üretim ve Tüketim), SKA 13 (İklim Eylemi) ve SKA 15 (Karasal Yaşam) hedeflerine önemli katkılar sunduğu belirtilmektedir (United Nations, 2015; IPBES, 2016).

Bu çok boyutlu katkılar, arıcılığı yalnızca bir tarımsal üretim faaliyeti olmaktan öte, sürdürülebilir kalkınma stratejilerinde merkezi bir konuma yerleştirmektedir. Arıcılık sayesinde çevresel, ekonomik ve sosyal faydaların eş zamanlı olarak elde edilmesi mümkün hale gelmektedir.

3. Ekolojik Ayak İzi ve Karbon Ayak İzi Kavramları

Ekolojik ayak izi, bir üretim sisteminin doğal kaynaklar üzerindeki toplam talebini ve çevresel baskılarını ölçen kapsamlı bir göstergedir. Bu kavram; enerji tüketimi, arazi kullanımı, su kaynaklarına olan talep, atık üretimi ve emisyonlar gibi farklı çevresel bileşenleri bütüncül bir yaklaşımla değerlendirerek sürdürülebilirlik analizlerinde önemli bir araç olarak

kullanılmaktadır (Wackernagel & Rees, 1996). Ekolojik ayak izi, sera gazı emisyonlarını kapsayan karbon ayak izine kıyasla daha geniş bir perspektif sunmakta ve doğal kaynak tüketimini de değerlendirme kapsamına dahil etmektedir.

Karbon ayak izi ise bir ürünün, hizmetin veya üretim sisteminin yaşam döngüsü boyunca atmosfere saldığı toplam sera gazı miktarını ifade etmekte olup genellikle karbondioksit eşdeğeri (CO_2e) cinsinden raporlanmaktadır (Wiedmann & Minx, 2008). Karbon ayak izi hesaplamaları, uluslararası düzeyde kabul gören ISO 14067 standardı çerçevesinde gerçekleştirilebilmekte ve özellikle iklim değişikliği üzerindeki etkilerin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (ISO, 2018).

Bu iki kavram birlikte ele alındığında, üretim sistemlerinin hem kaynak kullanımı hem de atmosferik etkileri açısından çevresel performansının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle karbon ayak izi analizi; enerji kullanımı, ulaşım, su tüketimi ve hammadde girdileri gibi süreçlerin sera gazı emisyonlarına olan katkısını nicel olarak ortaya koymaktadır.

3.1. Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Assessment – LCA) ile Bağlantısı

Ekolojik ve karbon ayak izi değerlendirmeleri çoğunlukla Yaşam Döngüsü Analizi (Life Cycle Assessment – LCA) yöntemi ile birlikte ele alınmaktadır. Yaşam Döngüsü Analizi, bir ürün ya da hizmetin "beşikten mezara" kadar olan tüm aşamalarındaki çevresel etkileri sistematik bir şekilde değerlendiren bir yaklaşımdır (ISO, 2006a; ISO, 2006b).

Bu yöntem; hammadde temini, üretim, dağıtım, kullanım ve bertaraf aşamalarında ortaya çıkan enerji tüketimi, malzeme akışları, atıklar ve sera gazı emisyonlarını kapsamlı biçimde analiz ederek çevresel etkilerin nicel olarak belirlenmesini sağlar (Guinée et al., 2011). Bu yönüyle Yaşam Döngüsü Analizi, karbon ayak izi hesaplamalarının temel metodolojik altyapısını oluşturmakta ve sürdürülebilir üretim stratejilerinin geliştirilmesine bilimsel bir zemin sunmaktadır.

3.2. Arıcılıkta Ekolojik ve Karbon Ayak İzi

Arıcılık faaliyetleri, sağladığı ekonomik katkıların yanı sıra çevresel etkileri bakımından da değerlendirilmektedir. Yaşam Döngüsü Analizi çalışmaları, arıcılıkta çevresel etki oluşturan temel süreçlerin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda göçer (migratory) ve sabit (non-migratory) arıcılık sistemleri arasında karbon ayak izi açısından belirgin farklılıklar bulunmaktadır.

Yapılan çalışmalar, göçer arıcılık sistemlerinde bal üretiminin karbon ayak izinin yaklaşık 1,4–2,2 kg CO_2e/kg bal aralığında olduğunu; buna karşın sabit arıcılık sistemlerinde bu değerin 0,4 kg CO_2e/kg bal civarına kadar düşebildiğini ortaya koymaktadır (Mungkung et al., 2020). Bu farkın temel nedeni, göçer arıcılıkta kovanların taşınmasına bağlı olarak artan yakıt tüketimi ve ulaşım kaynaklı emisyonlardır.

Ayrıca, göçer arıcılıkta yakıt kullanımı ve lojistik faaliyetler karbon ayak izinin en önemli bileşenini oluştururken; sabit sistemlerde elektrik tüketimi ve üretim süreçleri daha belirleyici çevresel etki unsurları olarak öne çıkmaktadır (Pignagnoli et al., 2021). Bu durum, arıcılıkta çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için farklı üretim sistemlerine özgü stratejilerin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

3.3. Değerlendirme ve Önemi

Ekolojik ve karbon ayak izi göstergeleri, arıcılık gibi tarımsal faaliyetlerde çevresel etkilerin objektif bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu göstergeler, karar vericilere bilimsel veri sağlayarak sürdürülebilirlik stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Ayrıca karbon ayak izi yaklaşımı, günümüzde yeşil pazarlama, iklim politikaları ve uluslararası ticarette çevresel uygunluk kriterleri açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Wiedmann & Minx, 2008).

4. Arıcılıkta Ekolojik Etki Kaynakları

4.1. Taşıma ve Yönetim

Arıcılıkta yönetim uygulamaları içerisinde kovan taşımacılığı, özellikle göçer arıcılık sistemlerinde en önemli çevresel etki kaynaklarından biridir. Yaşam Döngüsü Analizi çalışmalarında, kovanların farklı nektar kaynaklarına taşınmasının toplam karbon ayak izi üzerindeki etkisinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Nitekim bazı çalışmalarda, ulaşım kaynaklı emisyonların toplam sera gazı salımlarının %50'sinden fazlasını oluşturduğu rapor edilmiştir (Pignagnoli et al., 2021).

Bu durum, göçer arıcıların çiçeklenme dönemlerini takip edebilmek amacıyla uzun mesafeler kat etmelerinden ve buna bağlı olarak yakıt tüketiminin artmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle fosil yakıt kullanımı, karbon dioksit emisyonlarının temel kaynağını oluşturarak çevresel sürdürülebilirliği olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

4.2. Enerji ve Elektrik Kullanımı

Arıcılıkta enerji kullanımı yalnızca taşımacılık ile sınırlı olmayıp, bal sağımı, işleme ve depolama süreçlerinde de önemli düzeyde enerji girdisi gerektirmektedir. Sabit arıcılık sistemlerinde yapılan çalışmalar, elektrik tüketiminin toplam sera gazı emisyonlarının önemli bir kısmını oluşturduğunu göstermektedir (Mungkung et al., 2020).

Elektrik enerjisi; balın süzülmesi, işlenmesi ve depolanması gibi süreçlerde kullanılmakta olup, bu faaliyetler karbon ayak izine doğrudan katkı sağlamaktadır. Bu nedenle enerji verimliliğinin artırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, arıcılıkta çevresel etkilerin azaltılması açısından kritik öneme sahiptir.

4.3. Nektar Kaynakları ve Üretim Verimliliği

Nektar kaynaklarının çeşitliliği ve verimliliği, arıcılıkta üretim çıktısı ile çevresel etki arasındaki ilişkiyi doğrudan etkilemektedir. Düşük nektar verimine sahip alanlarda arıların daha uzun mesafeler kat etmesi ve daha fazla enerji harcaması gerekmekte, bu durum üretim başına düşen çevresel yükün artmasına neden olmaktadır (Pignagnoli et al., 2021).

Yaşam Döngüsü Analizi çalışmaları, bal veriminin düşük olduğu durumlarda birim ürün başına karbon ayak izinin arttığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle flora çeşitliliğinin artırılması ve uygun üretim alanlarının seçilmesi, hem verimliliğin artırılması hem de çevresel etkilerin azaltılması açısından önemlidir.

5. Arıcılıkta Pozitif Çevresel Etkiler

Arıcılık faaliyetleri yalnızca çevresel yük oluşturan bir üretim sistemi olmayıp, aynı zamanda önemli ekosistem hizmetleri sunarak çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır. Özellikle polinasyon hizmeti, tarımsal üretim ve biyolojik çeşitlilik açısından kritik bir rol oynamaktadır (Garibaldi et al., 2013).

5.1. Polinasyonun Yaşam Döngüsü Etkileri

Polinasyon hizmetinin Yaşam Döngüsü Analizi çalışmalarına dahil edilmesi, arıcılık faaliyetlerinin net çevresel etkisinin yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir. Yapılan araştırmalar, polinasyonun tarımsal verimi artırarak birim ürün başına düşen çevresel yükü azaltabileceğini göstermektedir (Klein et al., 2007).

5.2. Biyoçeşitlilik ve Ekosistem Hizmetleri

Arılar, doğal bitki türlerinin çoğalmasını destekleyerek biyolojik çeşitliliğin korunmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum, ekosistemlerin dayanıklılığını artırmakta ve ekolojik dengeyi güçlendirmektedir (IPBES, 2016).

5.3. Tarımsal Verim ve Gıda Güvenliği

Arı polinasyonu, birçok tarımsal üründe verim ve kalite artışı sağlayarak küresel gıda güvenliğine önemli katkılar sunmaktadır (Klein et al., 2007).

5.4. Genel Değerlendirme

Bu bulgular, arıcılık faaliyetlerinin yalnızca karbon emisyonları açısından değil, sağladığı ekosistem hizmetleri ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

6. Sürdürülebilirlik İçin Uygulamalar

Sürdürülebilir arıcılık uygulamaları; ulaşımın optimize edilmesi, yenilenebilir enerji kullanımı, ekosistem temelli yönetim ve eğitim faaliyetlerinin artırılması gibi stratejileri içermektedir (Pignagnoli et al., 2021).

7. Sonuç

Bal arısı yetiştiriciliğinde ekolojik ayak izi ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişki, üretim sistemi ve yönetim uygulamalarına bağlı olarak değişmektedir. Göçer arıcılık sistemlerinde karbon ayak izinin daha yüksek olduğu; sabit sistemlerde ise daha düşük seviyelerde gerçekleştiği görülmektedir (Mungkung et al., 2020).

Bununla birlikte, arıcılığın sunduğu polinasyon hizmetleri ve ekosistem katkıları dikkate alındığında, bu faaliyetlerin net çevresel etkisinin pozitif olabileceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir arıcılık politikalarının geliştirilmesinde, çevresel etkilerin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

Bastos, D. H. M., Barth, O. M., Rocha, C. I., Cunha, I. B. S., Carvalho, P. O., Torres, E. A. F. S., & Michelan, M. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of Brazilian propolis. Journal of Food Composition and Analysis, 24(6), 961–965.

Bradbear, N. (2009). Bees and their role in forest livelihoods. Food and Agriculture Organization (FAO).

FAO. (2018). The importance of bees and other pollinators for food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. Ecological Economics, 68(3), 810–821.

Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., … Klein, A. M. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. Science, 339(6127), 1608–1611. https://doi.org/10.1126/science.1230200

Guinée, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., … Rydberg, T. (2011). Life cycle assessment: Past, present, and future. Environmental Science & Technology, 45(1), 90–96.

IPBES. (2016). The assessment report on pollinators, pollination and food production. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

ISO. (2006a). ISO 14040: Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework.

ISO. (2006b). ISO 14044: Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines.

ISO. (2018). ISO 14067: Carbon footprint of products.

Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 274(1608), 303–313. https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721

Mungkung, R., Gheewala, S. H., & Kiatkittipong, W. (2020). Life cycle assessment of honey production. Journal of Cleaner Production, 256, 120452. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120452

Pignagnoli, L., Vittuari, M., & Brunori, G. (2021). Environmental sustainability of honey production: A review. Sustainability, 13, 1–15.

Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., … Viana, B. F. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. Nature, 540, 220–229. https://doi.org/10.1038/nature20588

United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.

Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth. New Society Publishers.

Wiedmann, T., & Minx, R. (2008). A definition of carbon

GEZGİNCİ ARICILIĞIN KOLONİ STRESİ VE HASTALIK DUYARLILIĞINA ETKİSİ

Zeynep ASUTAY [1], Hakan İNCİ [2]

[1]Bitlis Eren Üniversitesi, Arıcılık, Bitlis, Türkiye, Orcid: 0000-0002-5854-1040

[2]Bingöl Üniversitesi, Arıcılık, Bitlis, Türkiye, Orcid:0000-0002-9791-0435

Özet

Gezginci arıcılık, kolonilerin yıl boyunca farklı ekolojik ve coğrafi bölgeler arasında taşınmasını içeren bir üretim sistemidir ve bal verimini artırma potansiyeline sahip olmasına rağmen, koloni sağlığı üzerinde önemli stres kaynakları oluşturabilmektedir. Taşıma sırasında ortaya çıkan fiziksel titreşimler, sıcaklık ve nem değişimleri, besin kaynaklarının kısıtlılığı ve koloniler arası yoğun etkileşimler, arıların biyotik ve abiyotik stres faktörlerine maruz kalmasına neden olmaktadır. Bu durum, bal arılarının bağışıklık yanıtlarını baskılayarak, paraziter, mikrobiyal ve viral hastalıklara karşı duyarlılığı artırmaktadır.

Gezginci arıcılık yapılan bölgelerde farklı kolonilerin aynı alanlarda yoğun şekilde bulunması, patojenlerin hızla yayılmasına ve Varroa destructor gibi parazitlerin koloniler arasında taşınmasına zemin hazırlamaktadır. Varroa akarları, hem doğrudan hem de viral hastalıkların vektörü olarak koloni kayıplarında kritik rol oynamaktadır. Ayrıca, taşımaya bağlı stres faktörleri, hem arıların fizyolojik durumunu hem de parazitlerin üreme başarısını etkileyerek, koloni direncinin düşmesine yol açmaktadır.

Mikrobiyal hastalıklar açısından, Nosema apis ve Nosema ceranae gibi mikrosporidiyal patojenler ile Amerikan ve Avrupa yavru çürüklüğü etkenleri, gezginci arıcılık sırasında daha hızlı yayılabilmektedir. Viral patojenler, özellikle Deforme Kanat Virüsü, Varroa ile etkileşim içinde bulunarak latent enfeksiyondan aktif enfeksiyona geçmekte ve koloni kayıplarını artırmaktadır

Bu nedenle, gezginci arıcılık yapılan kolonilerde sürdürülebilir sağlık yönetimi, taşıma süresinin minimize edilmesi, uygun havalandırma koşullarının sağlanması, besin takviyeleri ile enerji ve bağışıklık desteğinin sağlanması, düzenli hastalık ve parazit kontrolleri ile koloni yoğunluğunun ve bölgesel karantinanın etkin şekilde yönetilmesini gerektirmektedir.

Sonuç olarak, gezginci arıcılık, ekonomik getirilerinin yanı sıra, koloni stresini ve hastalık duyarlılığını artırma potansiyeline sahip bir uygulamadır. Ancak entegre yönetim stratejileri ile hem verim hem de koloni sağlığı optimize edilebilir; bu, özellikle viral, mikrobiyal ve paraziter etmenlerin yayılımını kontrol etmek için kritik öneme sahiptir. Gezginci arıcılık, nektar ve polen kaynaklarından maksimum fayda sağlamak amacıyla kolonilerin yıl içinde farklı ekolojik bölgelere taşınmasını içeren yaygın bir üretim sistemidir. Bu uygulama bal verimini artırabilmesine rağmen, koloni sağlığı üzerinde stres kaynaklı olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu çalışmada gezginci arıcılığın bal arısı kolonilerinde fizyolojik stres, bağışıklık yanıtı ve hastalık duyarlılığı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Literatür verileri ve saha gözlemlerine dayalı olarak; taşıma sıklığı, çevresel değişkenlik, besin kaynaklarındaki ani değişim ve patojen maruziyetinin koloni sağlığı üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Sonuç olarak, gezginci arıcılığın uygun yönetim stratejileri uygulanmadığında hastalık insidansını artırabileceği, ancak kontrollü uygulamalarla bu risklerin azaltılabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gezginci arıcılık, koloni stresi, bal arısı, arı hastalıkları, bağışıklık

1. Giriş

Arıcılık faaliyetleri dünya genelinde hem ekonomik hem de ekolojik açıdan büyük öneme sahiptir. Bal arıları (Apis mellifera L.), yalnızca bal, polen, propolis ve arı sütü gibi arı ürünlerinin üretiminde değil; aynı zamanda tarımsal ve doğal ekosistemlerde bitkisel üretimin sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez bir tozlaşma hizmeti sunmaktadır. Küresel ölçekte yetiştirilen tarımsal ürünlerin yaklaşık %75'inin, doğrudan ya da dolaylı olarak, hayvanlarla tozlaşmaya bağımlı olduğu bildirilmektedir. Bu bağlamda bal arıları, hem gıda güvenliği hem de biyolojik çeşitliliğin korunması açısından kilit türler arasında yer almaktadır. (Klein ve ark., 2007).

Son yıllarda artan bal ve arı ürünleri talebi, doğal nektar ve polen kaynaklarının azalması ve iklim değişikliğine bağlı çiçeklenme düzensizlikleri, arıcıları alternatif üretim stratejilerine yönlendirmiştir. Bu stratejilerden biri olan gezginci arıcılık, kolonilerin yıl içerisinde farklı ekolojik bölgelere taşınarak ardışık çiçeklenme dönemlerinden yararlanmasını amaçlayan yaygın bir uygulamadır. Özellikle Akdeniz, Orta Doğu ve Asya ülkelerinde gezginci arıcılık, bal üretiminin temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir (Neumann ve Carreck, 2010).

Bununla birlikte, gezginci arıcılık uygulamaları koloni sağlığı açısından önemli riskleri de beraberinde getirmektedir. Kolonilerin sık aralıklarla taşınması; mekanik titreşim, sıcaklık ve nem dalgalanmaları, havalandırma yetersizliği ve yön bulma stresine neden olmaktadır. Bu stres faktörlerine ek olarak, farklı bölgelerdeki flora yapısının ani değişimi, arıların beslenme düzenini etkileyerek protein ve karbonhidrat dengesinde bozulmalara yol açabilmektedir. Beslenme stresinin bağışıklık sistemiyle yakından ilişkili olduğu ve yetersiz beslenen kolonilerde hastalıklara karşı direncin azaldığı bilinmektedir. (Alaux ve ark., 2010).

Gezginci arıcılık aynı zamanda patojen ve parazitlerin yayılımını kolaylaştıran bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Farklı bölgelerden gelen kolonilerin aynı alanlarda yoğunlaşması, Varroa destructor, Nosema türleri ve çeşitli viral etmenlerin koloniler arasında taşınma riskini artırmaktadır. Stres altındaki kolonilerde bağışıklık yanıtının baskılanması, bu patojenlerin enfeksiyon oluşturma ve yayılma potansiyelini daha da güçlendirmektedir. (Rosenkranz ve ark., 2010).

Bal arılarında stres; bireysel bağışıklık mekanizmalarının yanı sıra, hijyen davranışı gibi koloni düzeyindeki sosyal bağışıklık tepkilerini de olumsuz etkileyebilmektedir (Simone-Finstrom ve Spivak, 2012). Bu durum, gezginci arıcılık yapılan kolonilerde hastalık insidansının ve koloni kayıplarının artmasına zemin hazırlayabilmektedir. Nitekim son yıllarda dünya genelinde bildirilen koloni kayıplarında, çoklu stres faktörlerinin (taşıma, beslenme yetersizliği, pestisit maruziyeti ve patojenler) birlikte etkili olduğu vurgulanmaktadır (vanEngelsdorp ve Meixner, 2010).

Bu bildiride, gezginci arıcılığın bal arısı kolonilerinde oluşturduğu stres faktörleri ile bağışıklık sistemi ve hastalık duyarlılığı arasındaki ilişkiler, güncel bilimsel literatür ışığında bütüncül bir yaklaşımla ele alınmaktadır. Ayrıca, gezginci arıcılık uygulamalarında koloni sağlığını korumaya yönelik yönetim stratejilerinin önemi tartışılmaktadır.

2. Gezginci Arıcılıkta Stres Kaynakları

Gezginci arıcılık uygulamalarında koloni sağlığını etkileyen stres faktörleri çok boyutlu olup, çoğu zaman birbiriyle etkileşim halinde ortaya çıkmaktadır. Bu stres kaynakları; taşıma süreci, çevresel ve iklimsel değişkenler, beslenme yetersizlikleri, pestisit maruziyeti ve koloni yoğunluğu gibi başlıklar altında değerlendirilebilir.

2.1 Taşıma ve Mekanik Stres

Gezginci arıcılığın en belirgin stres faktörlerinden biri, kolonilerin bir bölgeden diğerine taşınmasıdır. Taşıma sırasında oluşan titreşim, gürültü, sıcaklık artışı ve havalandırma yetersizliği, arılarda akut stres yanıtlarını tetikleyebilmektedir. Özellikle uzun mesafeli ve gece taşımalarında, kovan içi sıcaklığın yükselmesi sonucu yavru kayıpları ve işçi arı mortalitesinde artış bildirilmektedir (Mitchell, Mulhauser & Mulhauser, 2012).

Taşıma stresinin ana arı üzerinde de olumsuz etkileri olduğu, yumurtlama kapasitesinde geçici veya kalıcı düşüşlere neden olabildiği belirtilmektedir. Ayrıca yön bulma davranışının bozulması, taşınma sonrası tarlacı arı kayıplarını artırarak koloni iş gücünü zayıflatmaktadır (Pettis et al., 2013).

2.2 Çevresel ve İklimsel Değişkenlik

Gezginci arıcılıkta koloniler kısa zaman dilimleri içinde farklı rakım, sıcaklık, nem ve fotoperiyot koşullarına maruz kalmaktadır. Bu ani çevresel değişimler, arıların fizyolojik adaptasyon mekanizmalarını zorlamakta ve metabolik stres oluşturmaktadır. Özellikle sıcaklık dalgalanmaları, kovan içi termoregülasyon davranışlarını artırarak enerji tüketimini yükseltmektedir (Stabentheiner, Kovac & Brodschneider, 2010).

İklimsel stres faktörlerinin, bağışıklık sistemi üzerinde baskılayıcı etkiler oluşturduğu ve patojenlere karşı direnci azalttığı bildirilmektedir. Aşırı sıcak veya soğuk koşullar, hemolenf protein profillerinde değişimlere yol açarak antimikrobiyal yanıtların etkinliğini düşürebilmektedir (Le Conte & Navajas, 2008).

2.3 Beslenme Stresi ve Flora Değişimi

Gezginci arıcılıkta koloniler, farklı bölgelerdeki bitkisel çeşitliliğe bağlı olarak kısa sürede değişen polen ve nektar kaynaklarıyla karşılaşmaktadır. Polen kaynaklarının kalitesi ve çeşitliliği, arıların protein alımı ve bağışıklık kapasitesi açısından kritik öneme sahiptir. Tek tip veya düşük kaliteli polenle beslenen kolonilerde bağışıklık genlerinin ekspresyonunun baskılandığı gösterilmiştir (Alaux et al., 2010).

Flora değişimine bağlı olarak besin dengesinin bozulması, yavru gelişimini ve arı ömrünü olumsuz etkilemekte, koloni dayanıklılığını azaltmaktadır. Bu durum, özellikle gezginci arıcılık yapılan monokültür tarım alanlarında daha belirgin hale gelmektedir (Di Pasquale et al., 2013).

2.4 Pestisit Maruziyeti ve Kimyasal Stres

Gezginci arıcılık çoğunlukla yoğun tarım yapılan bölgelerde gerçekleştirildiğinden, koloniler pestisitlere daha fazla maruz kalmaktadır. Subletal dozlarda dahi pestisit maruziyetinin, arı davranışlarını, öğrenme yeteneğini ve bağışıklık sistemini olumsuz etkilediği bildirilmektedir. Özellikle neonikotinoid grubu pestisitlerin, patojenlerle sinerjik etki göstererek hastalık riskini artırdığı bilinmektedir. Pestisitlerin stres faktörleriyle birlikte etkisi, koloni düzeyinde

bağışıklık çöküşüne yol açabilmekte ve gezginci arıcılık yapılan kolonilerde kışlama kayıplarını artırabilmektedir (Goulson et al., 2015).

2.5 Koloni Yoğunluğu ve Sosyal Stres

Gezginci arıcılık sırasında farklı bölgelerden gelen çok sayıda koloninin aynı alanda yoğunlaşması, rekabeti artırmakta ve sosyal stres oluşturmaktadır. Koloni yoğunluğunun artması, yağmacılık davranışlarını teşvik ederek patojen ve parazitlerin yatay bulaşma riskini yükseltmektedir. Bu sosyal stres koşulları altında, hijyen davranışı ve koloni içi savunma mekanizmalarının etkinliği azalabilmekte, hastalıkların koloni içinde ve koloniler arasında yayılımı kolaylaşmaktadır (Seeley & Smith, 2015).

3. Koloni Stresi ve Bağışıklık Sistemi İlişkisi

Bal arılarında stres faktörleri ile bağışıklık sistemi arasındaki ilişki, son yıllarda yapılan moleküler ve fizyolojik çalışmalarla daha iyi anlaşılmaya başlanmıştır. Bal arılarının bağışıklık sistemi, omurgalılardan farklı olarak yalnızca doğuştan (innate) bağışıklık mekanizmalarına dayanmaktadır. Bu sistem; hücresel yanıtlar (fagositoz, nodülasyon) ve humoral yanıtlar (antimikrobiyal peptitler, fenoloksidaz sistemi) olmak üzere iki ana bileşenden oluşur (Evans et al., 2006).

Gezginci arıcılıkta ortaya çıkan taşıma, beslenme yetersizliği, iklimsel dalgalanmalar ve pestisit maruziyeti gibi stres faktörleri, bağışıklıkla ilişkili genlerin ekspresyonunu baskılayabilmektedir. Stres altındaki arılarda defensin, hymenoptaecin ve abaecin gibi antimikrobiyal peptitleri kodlayan genlerin ifadesinde anlamlı düşüşler bildirilmektedir. Bu durum, patojenlere karşı ilk savunma hattının zayıflamasına yol açmaktadır. (Alaux et al., 2010).

Fizyolojik stres, hemolenf bileşimini de doğrudan etkilemektedir. Hemolenfte bulunan bağışıklık proteinlerinin ve enzimlerin düzeylerindeki azalma, mikroorganizmaların çoğalmasını kolaylaştırmakta ve enfeksiyonların sistemik hale gelme riskini artırmaktadır. Özellikle enerji metabolizmasının stres koşullarında bağışıklık fonksiyonları pahasına yeniden düzenlendiği, bu nedenle bağışıklık yanıtlarının baskılandığı belirtilmektedir (Schmid-Hempel, 2005).

Koloni stresi yalnızca bireysel bağışıklık mekanizmalarını değil, aynı zamanda koloni düzeyinde işleyen sosyal bağışıklık süreçlerini de olumsuz etkilemektedir. Sosyal bağışıklık; hijyen davranışı, hasta yavruların kovandan uzaklaştırılması, propolis kullanımı ve tımar davranışı gibi kollektif savunma stratejilerini kapsamaktadır. Stres altındaki kolonilerde işçi arıların bu davranışları sergileme sıklığının azaldığı ve hastalık etmenlerinin koloni içinde daha hızlı yayıldığı bildirilmektedir. (Cremer, Armitage & Schmid-Hempel, 2007).

Hijyen davranışındaki azalma, özellikle yavru hastalıkları ve paraziter enfestasyonlar açısından kritik sonuçlar doğurmaktadır. Örneğin, hijyen davranışı zayıflayan kolonilerde Varroa destructor popülasyonunun daha hızlı arttığı ve buna bağlı olarak viral enfeksiyonların şiddetlendiği gözlenmiştir. Bu durum, stres–bağışıklık–hastalık etkileşiminin koloni çöküşüne kadar uzanabilen bir süreç oluşturduğunu göstermektedir. (Evans & Spivak, 2010).

4. Gezginci Arıcılık ve Hastalık Duyarlılığı

Gezginci arıcılık uygulamaları, kolonilerin yıl içerisinde farklı ekolojik bölgeler arasında taşınmasını içerdiğinden, arıların biyotik ve abiyotik stres faktörlerine maruz kalma düzeyini

artırmaktadır. Bu durum, bal arılarının bağışıklık yanıtlarını baskılayarak paraziter, mikrobiyal ve viral hastalıklara karşı duyarlılığı artırabilmektedir (Alaux et al., 2010; VanEngelsdorp et al., 2009). Özellikle farklı arıcılık işletmelerine ait kolonilerin aynı alanlarda yoğun şekilde konumlandırılması, patojenlerin yayılımı açısından önemli bir risk oluşturmaktadır (Seeley & Smith, 2015).

4.1. Paraziter Hastalıklar

Gezginci arıcılık, Varroa destructor gibi zorunlu parazitlerin koloniler arasında taşınmasını ve yayılımını kolaylaştıran başlıca faktörlerden biridir (Rosenkranz et al., 2010). Varroa akarları, yalnızca hemolenf emerek fiziksel zarar oluşturmakla kalmayıp, aynı zamanda çeşitli viral patojenlerin vektörü olarak da görev yapmaktadır (Martin et al., 2012).

Taşıma sürecinde oluşan titreşim, sıcaklık dalgalanmaları ve besin stresi gibi faktörler, kolonilerde fizyolojik stres düzeyini artırarak Varroa popülasyonunun daha hızlı çoğalmasına olanak tanımaktadır (Ahn et al., 2012). Araştırmalar, stres altındaki kolonilerde Varroa'nın üreme başarısının arttığını ve bunun koloni gelişimini olumsuz etkilediğini göstermektedir (Nazzi & Le Conte, 2016).

Ayrıca, gezginci arıcılık yapılan alanlarda farklı koloniler arasında akar driftinin artması, mücadele programlarının etkinliğini azaltmakta ve dirençli Varroa popülasyonlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır (Frey et al., 2011).

4.2. Mikrobiyal Hastalıklar

Gezginci arıcılık uygulamalarının, Nosema apis ve Nosema ceranae gibi mikrosporidiyal patojenlerin yayılımını hızlandırdığı bildirilmektedir (Fries, 2010). Nosema enfeksiyonları, sindirim sistemi epitel hücrelerini etkileyerek besin emilimini bozmakta ve arıların yaşam süresini kısaltmaktadır (Higes et al., 2008).

Uzun mesafeli taşımaya bağlı stres, bağışıklık sisteminin baskılanmasına neden olarak Nosema enfeksiyonlarının klinik hale geçmesini kolaylaştırmaktadır (Mayack & Naug, 2009).

Buna ek olarak, Amerikan Yavru Çürüklüğü (Paenibacillus larvae) ve Avrupa Yavru Çürüklüğü (Melissococcus plutonius) gibi bakteriyel hastalıkların gezginci arıcılık yapılan kolonilerde daha sık görüldüğü rapor edilmiştir (Genersch, 2010). Ortak kullanılan mera alanları, ekipmanlar ve yoğun koloni varlığı, bu patojenlerin koloniler arasında hızla yayılmasına neden olmaktadır (Forsgren, 2010).

4.3. Viral Enfeksiyonlar

Gezginci arıcılık sırasında karşılaşılan çevresel ve fizyolojik stres faktörleri, bal arılarında yaygın olarak bulunan viral etmenlerin latent durumdan aktif enfeksiyon haline geçmesini tetikleyebilmektedir (Doublet et al., 2015). Özellikle Deforme Kanat Virüsü (Deformed Wing Virus, DWV), Varroa destructor ile güçlü bir etkileşim içerisinde olup, yüksek Varroa yoğunluğu bulunan kolonilerde ciddi koloni kayıplarına yol açmaktadır (Wilfert et al., 2016).

Viral enfeksiyonlar genellikle tek başına değil, Varroa parazitizmi ve Nosema enfeksiyonları gibi diğer stres faktörleriyle birlikte ortaya çıkmaktadır. Bu çoklu stres etkileşimi, bağışıklık genlerinin baskılanmasına, yavru gelişiminin bozulmasına ve işçi arı ömrünün kısalmasına neden olmaktadır (Evans & Schwarz, 2011).

5. Yönetim Stratejileri ve Risk Azaltma Yaklaşımları

Gezginci arıcılık sistemlerinde koloni sağlığının korunması ve hastalık risklerinin azaltılması, bütüncül ve planlı yönetim stratejilerinin uygulanmasını gerektirmektedir. Taşımaya bağlı stres faktörleri, bağışıklık sisteminin baskılanmasına ve patojenlere karşı duyarlılığın artmasına yol açtığı için risk azaltma yaklaşımlarının hem taşıma öncesi hem de taşıma sonrası dönemi kapsaması önemlidir (Simone-Finstrom et al., 2022).

Koloni taşımalarında taşıma sürelerinin mümkün olduğunca kısaltılması ve uygun havalandırma koşullarının sağlanması, termal stresin ve karbondioksit birikiminin önlenmesi açısından kritik bir uygulamadır. Uygun çevresel koşulların sağlanmaması, stres seviyelerini yükseltebilmekte ve arıların metabolik dengelerini bozabilmektedir (Meikle, Weiss & Maes, 2017).

Taşıma öncesi ve sonrası dönemlerde besin takviyelerinin uygulanması, kolonilerin enerji dengesinin korunmasına ve bağışıklık yanıtlarının desteklenmesine katkı sağlamaktadır. Gezginci kolonilerde besin çeşitliliğinin azalması ve stres koşulları ile karşılaşılması bağışıklık etkinliğini düşürmektedir; bu nedenle doğru beslenme, bağışıklık tepkilerini iyileştirmede önemli bir rol oynar (Simone-Finstrom et al., 2022).

Gezginci arıcılık yapılan işletmelerde düzenli hastalık ve parazit kontrollerinin gerçekleştirilmesi, erken teşhis ve etkili mücadele açısından temel bir yönetim uygulamasıdır. Özellikle Varroa destructor gibi parazitlere karşı izleme ve entegre mücadele uygulamaları, parazit baskısını azaltmakta ve hastalıkların yayılımını sınırlandırmaktadır (Gözlemsel çalışmalar ve enfestasyon izlemleri göstermiştir).

Ayrıca, bölgesel karantina uygulamaları ve koloni yoğunluğunun kontrol edilmesi, patojenlerin koloniler arasında yayılımını sınırlandıran etkili önlemler arasında yer almaktadır. Aynı mera alanında aşırı koloni yoğunluğu, drift ve hastalık bulaşma riskini artırmaktadır (Alger et al., 2021'daki epidemiyolojik analizlere göre).

Sonuç olarak, gezginci arıcılıkta sürdürülebilir koloni yönetimi; uygun taşıma koşulları, dengeli besleme, düzenli sağlık kontrolleri ve bölgesel planlamayı içeren entegre bir yaklaşım gerektirir. Bu stratejilerin birlikte uygulanması, koloni stresini azaltarak hastalıkların görülme sıklığını ve şiddetini önemli ölçüde düşürebilir (Simone-Finstrom et al., 2022; Meikle, Weiss & Maes, 2017).

6. Sonuç

Gezginci arıcılık, bal üretimini artırma ve farklı nektar–polen kaynaklarından yararlanma açısından önemli bir üretim stratejisi olmakla birlikte, koloni sağlığı üzerinde çok yönlü stres faktörleri oluşturmaktadır. Bu bildiride ele alınan literatür ve saha gözlemleri, gezginci arıcılığın uygun şekilde yönetilmediği durumlarda bal arısı kolonilerinde fizyolojik stresin arttığını, bağışıklık sisteminin baskılandığını ve bunun sonucunda hastalıklara karşı duyarlılığın belirgin şekilde yükseldiğini ortaya koymaktadır.

Kolonilerin sık ve uzun mesafeli taşınması, ani çevresel ve iklimsel değişimler, besin kaynaklarındaki dengesizlikler, pestisit maruziyeti ve yüksek koloni yoğunluğu; stres–bağışıklık–hastalık etkileşimini tetikleyen temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bu stres faktörlerinin bir arada etkili olması, Varroa destructor, Nosema türleri ve viral etmenler başta olmak üzere birçok patojenin enfeksiyon oluşturma potansiyelini artırmakta ve koloni

kayıplarını hızlandırmaktadır. Özellikle bireysel bağışıklık mekanizmalarının zayıflamasıyla birlikte sosyal bağışıklık davranışlarının da olumsuz etkilenmesi, hastalıkların koloni içinde ve koloniler arasında yayılımını kolaylaştırmaktadır.

Bununla birlikte, gezginci arıcılığın koloni sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin kaçınılmaz olmadığı görülmektedir. Uygun taşıma koşullarının sağlanması, dengeli ve yeterli besleme programlarının uygulanması, düzenli hastalık ve parazit kontrollerinin yapılması, koloni yoğunluğunun sınırlandırılması ve bölgesel planlama gibi entegre yönetim stratejileri sayesinde stres düzeyi önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bu tür kontrollü uygulamalar, gezginci arıcılığın verim avantajlarını korurken koloni sağlığını sürdürülebilir kılmaya olanak tanımaktadır.

Sonuç olarak, gezginci arıcılık uygulamalarının başarı ve sürdürülebilirliği, yalnızca bal verimi odaklı değil; koloni sağlığı, bağışıklık kapasitesi ve hastalık yönetimini merkeze alan bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasına bağlıdır. Gelecekte yapılacak çalışmaların, stres biyobelirteçleri ve bağışıklık parametreleri üzerinden gezginci arıcılığın uzun vadeli etkilerini ortaya koyması, bilim temelli yönetim stratejilerinin geliştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

Kaynaklar

Alaux, C., Ducloz, F., Crauser, D., & Le Conte, Y. (2010). Diet effects on honeybee immunocompetence. Biology Letters, 6(4), 562–565. https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0996

Alaux, C., Brunet, J. L., Dussaubat, C., et al. (2010). Interactions between Nosema microspores and a neonicotinoid weaken honeybees. Environmental Microbiology, 12(3), 774–782. https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.02123.x

Ahn, K., Xie, X., Riddle, J., et al. (2012). Effects of long-distance transportation on honey bee physiology. Journal of Apicultural Research, 51(4), 356–366. https://doi.org/10.3896/IBRA.1.51.4.08

Cremer, S., Armitage, S. A. O., & Schmid-Hempel, P. (2007). Social immunity. Current Biology, 17(16), R693–R702. https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.06.008

Di Pasquale, G., Salignon, M., Le Conte, Y., Belzunces, L. P., Decourtye, A., Kretzschmar, A., … Alaux, C. (2013). Influence of pollen nutrition on honey bee health: Do pollen quality and diversity matter? PLoS ONE, 8(8), e72016. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072016

Doublet, V., Labarussias, M., de Miranda, J. R., et al. (2015). Bees under stress: Sublethal doses of a pesticide and pathogens interact to elevate honey bee mortality. Journal of Insect Physiology, 82, 119–128. https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2015.07.008

Evans, J. D., Aronstein, K., Chen, Y. P., Hetru, C., Imler, J. L., Jiang, H., … Hultmark, D. (2006). Immune pathways and defence mechanisms in honey bees Apis mellifera. Insect Molecular Biology, 15(5), 645–656. https://doi.org/10.1111/j.1365-2583.2006.00682.x

Evans, J. D., & Schwarz, R. S. (2011). Bees brought to their knees. PLoS Biology, 9(6), e1001052. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001052

Evans, J. D., & Spivak, M. (2010). Socialized medicine: Individual and communal disease barriers in honey bees. Journal of Invertebrate Pathology, 103(S1), S62–S72. https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.07.016

Frey, E., Odemer, R., Blum, T., & Rosenkranz, P. (2011). Varroa mite control and resistance. Experimental and Applied Acarology, 54, 125–149. https://doi.org/10.1007/s10493-011-9443-4

Forsgren, E. (2010). European foulbrood in honey bees. Journal of Invertebrate Pathology, 103(S1), S5–S9. https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.012

Fries, I. (2010). Nosema ceranae in European honey bees. Journal of Invertebrate Pathology, 103(S1), S73–S79. https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.017

Genersch, E. (2010). American foulbrood in honeybees. Apidologie, 41(3), 149–166. https://doi.org/10.1051/apido/2010010

Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. Science, 347(6229), 1255957. https://doi.org/10.1126/science.1255957

Higes, M., Martín-Hernández, R., & Meana, A. (2008). Nosema ceranae in Europe. Environmental Microbiology Reports, 10, 110–113. https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2007.00056.x

Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the Royal Society B, 274(1608), 303–313. https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721

Le Conte, Y., & Navajas, M. (2008). Climate change: Impact on honey bee populations and diseases. Revue Scientifique et Technique (OIE), 27(2), 499–510. https://doi.org/10.20506/rst.27.2.1814

Martin, S. J., Highfield, A. C., Brettell, L., et al. (2012). Global honey bee viral landscape altered by Varroa destructor. Science, 336(6086), 1304–1306. https://doi.org/10.1126/science.1220941

Mayack, C., & Naug, D. (2009). Energetic stress in honeybees. Journal of Insect Physiology, 55(12), 1086–1090. https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2009.09.006

Mitchell, D., Mulhauser, B., & Mulhauser, B. (2012). Effects of transport stress on honey bees. American Bee Journal, 152(1), 57–59.

Neumann, P., & Carreck, N. L. (2010). Honey bee colony losses. Journal of Apicultural Research, 49(1), 1–6. https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.01

Nazzi, F., & Le Conte, Y. (2016). Ecology of Varroa destructor. Annual Review of Entomology, 61, 417–432. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023731

Pettis, J. S., Johnson, J., & Dively, G. (2013). Pesticide exposure in honey bees results in increased levels of the gut pathogen Nosema. Naturwissenschaften, 99(2), 153–158. https://doi.org/10.1007/s00114-012-0999-2

Rosenkranz, P., Aumeier, P., & Ziegelmann, B. (2010). Biology and control of Varroa destructor. Journal of Invertebrate Pathology, 103(S1), S96–S119. https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.07.016

Schmid-Hempel, P. (2005). Evolutionary ecology of insect immune defenses. Annual Review of Entomology, 50, 529–551. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.50.071803.130420

Seeley, T. D., & Smith, M. L. (2015). Crowding honeybee colonies in apiaries can increase their vulnerability to the deadly ectoparasite Varroa destructor. Apidologie, 46(6), 716–727. https://doi.org/10.1007/s13592-015-0356-4

Simone-Finstrom, M., & Spivak, M. (2012). Increased resin collection after parasite challenge: A case of self-medication in honey bees? PLoS ONE, 7(3), e34601. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034601

Stabentheiner, A., Kovac, H., & Brodschneider, R. (2010). Honeybee colony thermoregulation—Regulatory mechanisms and contribution of individuals in dependence on age, location and thermal stress. PLoS ONE, 5(1), e8967. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008967

vanEngelsdorp, D., & Meixner, M. D. (2010). A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. Journal of Invertebrate Pathology, 103(S1), S80–S95. https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.011

Wilfert, L., Long, G., Leggett, H. C., et al. (2016). Deformed wing virus epidemic. Science, 351(6273), 594–597. https://doi.org/10.1126/science.aac9976

PSÖDO-TAHILLAR VE ENZİM KULLANIMININ GLUTEN AZALTILMIŞ GOFRET ÜRETİMİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ

Deyana ABBAS[1], Selçuk ARSLAN[2], Canan CAN[3], Hüseyin BOZKURT[4]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Gıda Mühendisliği, Gaziantep, Türkiye

Orcid: 0009-0008-5139-4253

[2]Gaziantep Üniversitesi, Moleküler Biyoloji, Gaziantep, Türkiye

Orcid: 0000 0002 5519 3618

[3]Gaziantep Üniversitesi, Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı, Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0000 0002 0473 1914

[4]Gaziantep Üniversitesi, Gıda Mühendisliği, Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0000 0003 4676 6354

Özet

Bu çalışma, buğday ununa üç alternatif un olan kinoa, amarant ve karabuğday ile %0, %25, %50 ve %100 oranlarında ikame edilmesini araştırmaktadır. Çalışmanın amacı, bu ikameler ile elde edilen gofretlerde fizikokimyasal, mikroyapısal ve duyusal özellikler üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Çalışma hipotezi, her unun kendine özgü protein nişasta matrikslerinin besinsel kaliteyi ve biyoaktif potansiyeli artıracağı yönündedir. Gofretlerde gluten kaybını telafi etmek amacıyla, hamur işlenebilirliğini ve gofret gevrekliğini iyileştirmek için inulin (%0,1–0,3) ve α-amilaz (%0,001–0,004) gibi fonksiyonel katkılar kullanılmıştır. Analizler; nem, su aktivitesi, renk (L*, a*, b*), tekstür, kül, protein ve 9 puanlı hedonik ölçek kullanılarak yapılan duyusal değerlendirmeleri kapsamaktadır. Sonuçlar, numunelerin nem içeriği %1,24–1,81, su aktivitesi ise 0,035–0,084 aralığında olup gıda güvenliği açısından düşük seviyededir. Renk analizinde kontrol numunesi en yüksek L* değerine sahipken, alternatif un içeren örneklerde koyulaşma gözlenmiştir. Tekstür analizinde kontrol en yüksek sertliği (564,9 N) gösterirken, diğer unlar daha düşük sertlik değerleri sergilemiştir. Protein içeriği %3,54–6,34 arasında değişmiş ve en yüksek değer amarantlı formülasyonda elde edilmiştir. Kül içeriği %0,86–2,12 aralığında artış göstermiştir. Duyusal analizde ise kontrol numunesi (7–8 puan) en yüksek genel kabulü alırken, diğer numuneler daha düşük puanlanmıştır. Bu bulgular, psödo-tahıllar gofretlerde besinsel açıdan olumlu katkılar sağladığını; ancak tekstür ve duyusal kabul üzerinde formülasyona bağlı olumsuz değişikliklere neden olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Psödo-tahıllar (Karabuğday, Kinoa), Gluten Azaltılmış Üretim, Enzim Uygulamaları, Sürdürülebilir Gıda Teknolojisi, Gofret Kalitesi, Biyoçeşitlilik

Giriş

Glutensiz ürünler, başlangıçta çölyak hastaları ve gluten hassasiyeti olan bireylerin ihtiyaçlarına yönelik geliştirilmiş olsa da, günümüzde algılanan sağlık faydaları nedeniyle daha geniş bir tüketici kitlesi tarafından benimsenerek niş bir pazardan ana akım ürün segmentine dönüşmüştür (Hamzehpour & Dastgerdi, 2023; Technavio, 2017). Bu dönüşüm, tüketicilerin düşük kalori, tuz ve şeker içeren, doğal içerikli ürünlere yönelmesi ve organik, yüksek proteinli veya tahılsız diyetlere artan ilgisi ile desteklenmektedir (Nielsen, 2014; Schoenlechner & Bender, 2020). Bu doğrultuda üreticiler, fonksiyonel ve alerjen içermeyen bileşenler kullanarak ürün inovasyonuna yönelirken, fırıncılık ve şekerleme sektöründe yer alan gofret ürünleri de bu trendlere uyum sağlamaktadır. Nitekim, sektördeki yeni ürün geliştirme çalışmalarının glutensiz ve organik gofretler, yenilikçi tatlar ve gelişmekte olan pazarlar üzerine yoğunlaşacağı belirtilmekte olup, özellikle glutensiz gofret ürünleri önemli bir büyüme alanı olarak öne çıkmaktadır (Technavio, 2017). Artan sağlık bilinci, değişen yaşam tarzları ve fonksiyonel gıdalara yönelik talep doğrultusunda küresel atıştırmalık pazarının büyümeye devam edeceği öngörülmekte ve bu kapsamda gluteni azaltılmış gofretler, hem duyusal beklentileri karşılayan hem de güncel tüketici eğilimlerine uyum sağlayan yenilikçi ürünler olarak değerlendirilmektedir.

Psödo-tahıllar; özellikle kinoa (*Chenopodium quinoa*), amarant (*Amaranthus spp.*) ve karabuğday (*Fagopyrum esculentum*), glutensiz ve sağlıklı gıda formülasyonlarında geleneksel unlara alternatif olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu ilgi, söz konusu hammaddelerin zengin besin profili ve fonksiyonel özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Schoenlechner & Bender, 2020; Hamzehpour & Dastgerdi, 2023). Botanik olarak tahıl grubuna dahil olmamakla birlikte, bu bitkilerin tohumları öğütülerek buğday unu benzeri şekilde kullanılabilmekte ve doğal olarak gluten içermemeleri nedeniyle çölyak hastaları için güvenli bir seçenek sunmaktadır (Moreno ve ark., 2009). Ayrıca bu hammaddeler, geleneksel tahıllara kıyasla daha yüksek protein, diyet lifi ve mikro besin öğeleri içeriği ile öne çıkmaktadır (Vega-Gálvez ve ark., 2010; Schoenlechner & Bender, 2020). Örneğin, kinoa ve amarant %13–18, karabuğday ise %11–14 protein içermekte olup, bu oranlar rafine pirinç veya mısır ununa kıyasla daha yüksektir (Hamzehpour & Dastgerdi, 2023). Dahası, bu proteinlerin amino asit dengesi oldukça iyidir; özellikle lisin açısından zengin olmaları, buğday proteinlerinin eksik kaldığı yönleri tamamlayarak yüksek biyolojik değer sunmaktadır (Schoenlechner & Bender, 2020).

Bu psödo-tahıllar aynı zamanda vitamin ve mineral bakımından da zengindir. Yüksek lif içerikleri (%10–15) ile birlikte demir, kalsiyum, magnezyum, çinko ve B grubu vitaminleri açısından önemli katkılar sağlamaktadır (Schoenlechner & Bender, 2020; Hamzehpour & Dastgerdi, 2023). Özellikle karabuğday, rutin gibi flavonoidler içeren antioksidan bileşenleri ile dikkat çekmekte ve glisemik kontrol ile kolesterol seviyeleri üzerinde olumlu etkiler gösterebilmektedir (Alvarez-Jubete ve ark., 2010; Giménez-Bastida & Zieliński, 2015). Bunun yanında, karabuğday proteinlerinin köpük oluşturma ve emülsifiye etme özellikleri, özellikle yumurtasız formülasyonlarda yapı ve hacim oluşumuna katkı sağlamaktadır (Gujral & Rosell, 2004). Kinoa ve amarant ise doymamış yağ asitleri ve çeşitli biyoaktif bileşenler içermeleri sayesinde sağlık açısından ilave faydalar sunmaktadır (Hamzehpour & Dastgerdi, 2023).

Teknolojik açıdan değerlendirildiğinde, bu unların gofret formülasyonlarına dahil edilmesi hem fırsatlar hem de zorluklar barındırmaktadır. Bu unların kullanımı, ürünün protein ve mineral içeriğini artırarak besinsel değerini önemli ölçüde yükseltmekte ve geleneksel olarak düşük besin değerine sahip olan gofretleri daha fonksiyonel bir ürüne dönüştürebilmektedir (Mert ve ark., 2015; Schoenlechner & Bender, 2020). Ayrıca, bu hammaddelerin kullanımı antioksidan kapasiteyi artırabilir ve glisemik indeksi düşürebilir (Alvarez-Jubete ve ark.,

2010; Mir ve ark., 2016). Ancak her bir psödo-tahılın kendine özgü özellikleri ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, kinoa ve amarant unları yüksek su tutma kapasitesine sahip olup hamur viskozitesini artırarak daha yoğun bir yapı oluşturabilirken, karabuğdayın kendine has aroması ve koyu rengi ürünün duyusal özelliklerini değiştirebilmektedir (Hamzehpour & Dastgerdi, 2023; Mert ve ark., 2015). Ayrıca glutenin yokluğu, hamurun reolojik davranışını etkilediğinden, uygun yayılma ve pişme özelliklerinin sağlanabilmesi için formülasyonda bağlayıcı bileşenlerin kullanılması veya proses koşullarının optimize edilmesi gerekmektedir (Mert ve ark., 2015).

Gluteni azaltılmış gofret üretimi, buğday bazlı formülasyonlarda glutenin azaltılması veya inaktive edilmesi sırasında hamurun işlenebilirliğinin ve ürünün yapısal bütünlüğünün korunmasını gerektirdiğinden teknik açıdan zorludur. Bu kapsamda enzimler, özellikle proteazlar, gluten proteinlerini daha küçük peptitlere parçalayarak etkili bir çözüm sunmaktadır. Mikrobiyal kaynaklı prolince özgü endopeptidazlar, gluten ağını parçalayarak pişirme öncesinde gluten miktarını önemli ölçüde azaltabilir ve hamurun glutensiz sistemlere benzer davranmasını sağlar (Capozzi ve ark., 2020). Ksilanaz enzimi ise arabinoksilanları hedef alarak hamur viskozitesini düşürür, gluten ağını zayıflatır ve gofret hamurunun yayılabilirliğini artırır (Sarı Ünlü, 2024). Ancak enzim kullanımı; doz, sıcaklık ve süre gibi parametrelerin dikkatli optimizasyonunu gerektirir, çünkü aşırı hidroliz ürün kalitesini olumsuz etkileyebilir (Capozzi ve ark., 2020).

Enzimlerin yanı sıra hidrokolloidler, emülgatörler ve lifler gibi fonksiyonel katkılar da glutensiz veya gluteni azaltılmış sistemlerde yapısal dengeyi destekler. Ksantan gam gibi hidrokolloidler viskoziteyi artırarak yapı oluşumuna katkı sağlarken, lesitin gibi emülgatörler homojenliği ve gevrekliği iyileştirir (Houben ve ark., 2012; Demirkesen ve ark., 2013). Lifler ve ön jelatinize nişastalar ise su tutma ve doku oluşumuna katkıda bulunur (Sabanis ve ark., 2009). Sonuç olarak, enzimler glutenin parçalanmasını sağlarken, diğer katkılar yapısal boşluğu doldurarak ürün kalitesini koruyan tamamlayıcı bir yaklaşım sunmaktadır.

Bu araştırmada, psödo-tahıl ve baklagil unlarının fonksiyonel enzimlerle birlikte kullanımının, gluteni azaltılmış ve tamamen glutensiz gofret yapraklarının fiziksel, kimyasal ve duyusal nitelikleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada, teknolojik performans, besin değeri artışı ve tüketici beğenisini dengeli bir şekilde sağlayabilen formülasyonların uygulanabilirliğini ortaya koymak amacıyla %25, %50 ve %100 arasında değişen ikame oranları incelenmiştir. Elde edilen sonuçların, hem ileri düzey optimizasyon çalışmalarına hem de endüstriyel ölçekte üretim süreçlerine yol gösterici nitelikte olması hedeflenmektedir.

Materyal ve Metot

Bu çalışma, enzim katkı maddesi birleştirilmiş psödo-tahıl unları kullanılarak gluten içeriği azaltılmış gofret formülasyonlarının üretilebilirliğini değerlendirmek üzere tasarlanmıştır. Burada malzemeler, formülasyonlar, hazırlama yöntemleri ve analitik prosedürler, daha ileri optimizasyon çalışmalarına temel teşkil edecek ilk bulguları elde etmek amacıyla pilot ölçekte uygulanmıştır.

Kontrol hammaddesi olarak ticari buğday unu kullanılmıştır. Alternatif unlar arasında karabuğday, kinoa ve amarant yer almaktadır ve bunların tümü yerel veya ticari kaynaklardan temin edilmiştir. İnülin gibi fonksiyonel katkı maddeleri ile α-amilaz ve enzimi, Tören Gıda (Gaziantep, Türkiye) tarafından temin edilmiştir. Bu unlar ve katkı maddeleri, fonksiyonel ve besinsel özellikleri nedeniyle seçilmiştir. Örneğin, karabuğday unu yüksek kaliteli protein ve fenolik bileşikler sağlarken, kinoa ve amarant amino asit dengesini ve biyoaktif bileşimi iyileştirmiştir.

Bir formülasyon buğday unundan oluşan kontrol öreneği olmak üzere toplamda on formülasyon hazırlanmıştır. İkame oranı %50'yi aşan gluten oranı azaltılmış numunelerde, hamurun işlenebilirliğini ve teknolojik performansını iyileştirmek için fonksiyonel katkı maddeleri (inülin ve α-amilaz enzimi) ilave edildi. Hamurlar standart koşullar altında karıştırılmış ve 170 °C'ye önceden ısıtılmış pilot ölçekli bir gofret fırınında yaklaşık 2 dakika 15 saniye pişirilmiştir.

Tablo 1. Hazırlanan gofret formülasyonları

	Un Çeşidi	**% Un**	**% Enzim**	**% İnulin**
1	Buğday	100	-	-
2	Amarant	25	0.001	0.3
3	Karabuğday	25	0.001	0.2
4	Kinoa	50	0.001	0.3
5	Karabuğday	100	0.004	0.3
6	Amarant	50	0.001	0.1
7	Amarant	25	0.004	0.1
8	Kinoa	100	0.001	0.1
9	Amarant	25	0.001	0.1
10	Karabuğday	25	0.004	0.2

1. Fiziksel analizler

1.1 Nem tayini

Gofretin % nem tayini TS 2134'e göre yapılacaktır.

Numuneler öğütülür, cihazın nem bakılacak bölümüne aluminyum nem tayin kapları konulur ve darasını almak için "tare" tuşuna basılır, 3 g civarında numune tartılır. Cihazın hafızasından ilgili program seçilip start düğmesine basılır. Sonuç cihazdan doğrudan okunur.

1.2 Su aktivitesi

Gofretin su aktivitesi tayini TS 7474 ve Novasina su aktivitesi metoduna göre yapılacaktır.

Numuneler öğütülür ve su aktivitesi cihazının plastik numune kabına, kabın alt yüzeyini kapatacak şekilde bir miktar numune konulur. Numune kabı, su aktivite cihazına yerleştirilir, ve start düğmesine basılır. Sonuç ekranda doğrudan okunur.

1.3 Renk

Renk ölçümleri Konica Minolta cihaz kullanılarak yapılacaktır.

Numune lensin üzerine konulur ve başlatma düğmesine basılır. Numunenin rengi L, a ve b değerleri ile ifade edilir. L aydınlık değeridir, a kırmızı ve yeşilliği, b sarı ve maviliği gösterir. L, a ve b değerleri 0'dan 100'e kadar sayılarla ifade edilir.

1.4 Tekstür analizi

Gofretin tekstür analizi tekstür ölçümleri TA.XT plus Stable Micro Systems Texture Analayser cihazı kullanılarak aşağıdaki metoda göre yapılacaktır.

Teçhizat taban plakasının iki ayarlanabilir desteği, numuneyi destekleyecek şekilde, uygun bir mesafeye yerleştirilir, örneğin 40 mm. Karşılaştırma amacıyla bu boşluk mesafesi not edilmeli ve sabit tutulmalıdır. Taban plakası daha sonra Heavy Duty Platform'a sabitlenir. Heavy Duty Platform, üst bıçağın iki alt destekten eşit uzaklıkta olmasını sağlayacak bir konumda manevra ettirilir ve kilitlenir. Numune paketten çıkarılır ve testten hemen önce desteklerin üzerine ortalanarak yerleştirilir.

2. Kimyasal analizler

2.1 Kül tayini

Gofretin % kül tayini TS 1511-AOAC 972.15'e göre yapılacaktır.

Kül tayininde kullanılan porselen krozeler yakma sıcaklığında sabit tartıma getirilir. Bu işlem için, porselen krozeler kül fırınında yakma sıcaklığında 60 dk. bekletilir. Bu süre sonunda porselen krozeler desikatöre alınarak soğutulur. Soğuyan krozelerin daraları alınır. (M0) Darası alınan krozelere öğütülmüş numunelerden 2 ila 5 gr tartılır.(M1) Üzerine 1 – 1.5 ml alkol konularak fırında yakma işlemi yapılır. Yakma işlemi tamamen bittikten sonra desikatöre alınır ve soğutulur. İki tartım arasındaki fark 0.001 gr oluncaya kadar yakma işlemine devam edilir.

Hesaplama ve sonuç:

$$\%Kül = \frac{M_2 - M_0}{M_1}$$

M0: Kroze darası, g

M1: Tartılan numune miktarı, g

M2: Yakma ve soğutma işleminden sonraki krozenin ağırlığı, g.

2.2 Protein tayini

Numunelerin protein içeriği, AOAC 920.87 (1990) yöntemine göre Kjeldahl metodu kullanılarak belirlenmiştir. Yaklaşık 1 g numune tartılarak sindirim tüpüne aktarılmıştır. Daha sonra 7 g potasyum sülfat (K_2SO_4), katalizör olarak 0.03 g bakır sülfat ($CuSO_4$) ve 12 mL %96'lık sülfürik asit (H_2SO_4) eklenmiştir. Karışım, berrak bir çözelti elde edilinceye kadar yaklaşık 40 dakika boyunca 400 °C'de sindirilmiştir.

Oda sıcaklığına soğutulduktan sonra, sindirilmiş numuneler Kjeldahl cihazı (Foss, Kjeltec 2200, Danimarka) kullanılarak damıtılmıştır. Elde edilen distilat, 0.1 N NaOH ile titre edilmiştir ve harcanan titrant hacmi kaydedilmiştir (renk mavi renkten pembeye dönüşmüştür). Arka plan azot seviyelerini düzeltmek amacıyla aynı prosedür kullanılarak bir blank (kör) numune hazırlanmıştır.

Titrasyon sonucunda elde edilen azot miktarı, 5.7 protein dönüşüm faktörü ile çarpılmıştır. Ardından protein içeriği aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\%Protein = \frac{HCL\ (ml) \times 0.1\ N \times 1.4\ \times 5.7\ (FACTOR)}{wafer\ sample\ in\ gram} \times 100$$

3. Duyusal analizler

Eğitimli panelistler tarafından 9 puanlı hedonik test ile değerlendirilmiştir. Panelde çıtırlık, tat, ağızda dağılma ve genel beğeni parametreleri puanlanmış.

Bulgular ve Tartışma

Bu ön çalışmanın sonuçları, %100 buğday unundan hazırlanan kontrol numunesi ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Gofretler; fiziksel, kimyasal ve duyusal özellikler açısından analiz edilmiş olup, sonuçlar Tablo 2.1, Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te sunulmuştur.

Tablo 2.1 Gofret Yapraklarının Fiziksel Analizleri

	Nem%	Aw	Renk			Tekstür (N)
			L*	a*	b*	
1	1,30	0,045	69,17	21,05	20,17	564,9
2	1,50	0,075	60,06	3,52	21,05	395,51
3	1,47	0,084	64,46	4,15	20,50	288,80
4	1,49	0,060	67,24	4,50	26,51	357,55
5	1,24	0,050	65,47	2,64	20,11	295,48
6	1,47	0,070	62,80	3,52	19,86	412,36
7	1,81	0,073	60,15	4,93	23,00	414,53
8	1,37	0,041	67,44	3,64	24,91	346,32
9	1,46	0,035	62,67	3,48	21,05	400,80
10	1,73	0,040	65,49	2,47	19,64	281,39

Tablo 2.2 Gofret Yapraklarının Kimyasal Analizleri

	Kül %	Protein %
1	1,11	5,63
2	2,12	5,54
3	1,45	4,67
4	1,12	4,54
5	1,16	5,46
6	0,86	5,67
7	1,49	3,54
8	1,12	5,51
9	1,25	6,34
10	1,52	5,43

Tablo 2.3 Gofret Yapraklarının Duyusal Analizleri

	Çıtırlık	Tat	Ağızda dağılma	Genel beğeni
1	7,25	7,25	7,00	7,75
2	3,75	6,25	5,00	4,50
3	2,75	6,25	4,50	2,25
4	5,75	6,75	5,75	5,75
5	3,50	3,75	2,00	3,00
6	6,00	6,25	4,00	5,75
7	3,00	4,75	2,75	4,50
8	5,25	4,50	6,50	4,75
9	6,75	5,50	8,00	5,25
10	4,75	3,00	3,50	3,25

Gluteni azaltmak veya tamamen kaldırmak amacıyla buğday ununun psödo-tahıllar unlarıyla ikame edildiği yeni gofret formülleri değerlendirildiğinde, numunelerin nem içeriği %1,24 ile %1,81 arasında değişmiştir. Kontrol numunesinde nem içeriği %1,30. Su aktivitesi (aw) değerleri 0,035 ile 0,084 arasında değişmiş olup, gıda güvenliği açısından düşük seviyede kalmıştır.

Renk analizinde, kontrol numunesi en yüksek L* değerine (69,17) sahipken, diğer alternatif unu içeren numunelerde daha düşük L* değerleri ile koyulaşma eğilimi gözlenmiştir.

Tekstür analizinde, kontrol numunesinin kuvvet değeri 564,9 N olarak belirlenirken, en düşük sertlik Karabuğday içeren numunelerinde gözlenmiştir. Buna karşılık Kinoa ve Amarant içeren numuneler yakın sertlik değerleri ile öne çıkmıştır.

Protein içerikleri %6,34 ile %3,54 arasında değişmiştir. En yüksek protein içeriği, Amarant ununun içeren formülasyonunda (%6,34) elde edilmiştir. Kül içeriği %0,86 ile %2,12 arası olup önemli bir artış gözlenmiştir.

Duyusal değerlendirme 9 puanlı hedonik skala kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Genel kabul açısından kontrol numunesine 7–8 puan aralığında değerlendirilirken, diğer numuneler düşük puanlar almıştır.

Formülasyonların teknolojik ve besinsel açıdan çıkarımlarına gelince, elde edilen sonuçlar gluten azaltımı gofret üretiminin mümkün olduğunu göstermektedir. Gluten içeriğinin önemli oranda düşürülmesi, çölyak ve gluten duyarlılığı olan tüketiciler için alternatif oluşumunu

destekler. psödo-tahıllar unlarıyla yapılan ikamelerle protein ve diyet lifi içeriği artmıştır; dolayısıyla bu katkılar gofretlerin besin profilini zenginleştirme potansiyeline sahiptir ve uygun katkı/enzim stratejileri ile mekanik kalite dengelenebilir. Literatürde glutensiz ürünlerde transglutaminaz gibi enzimlerin kullanımı, bağ doku oluşturarak ekmek ve kurabiyelerde yapıyı güçlendirdiği bildirilmiştir. Örneğin, hidroklorik metilselüloz (HPMC) veya guar gamı gibi hidro-kolloid eklemeleri ve enzim ilaveleri, glutensiz hamurlarda gaz tutulumunu ve yumuşaklığı artırabilir. Ayrıca çalışmamızdaki düşük nem içeriği ve su aktivitesi değerleri gofretlerin uzun raf ömrüne uygun olduğunu göstermektedir. Glutensiz gofret formülasyonlarında ise bakım koşullarına duyarlılık artacağı için ambalaj ve nem kontrolü hayati olacaktır

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle, farklı formülasyonlara ilişkin verilerimiz tek bir laboratuvar koşulu ve panel ile elde edilmiştir; sensör panelinin uzman sayısı sınırlı olup sonuçlar genel tüketici tercihleriyle örtüşmeyebilir. Ölçüm yöntemleri olarak kalite parametreleri endüstriyel standartlarda gerçekleştirilse de daha detaylı moleküler analizler (ör. yapı mikroskopisi) yapılmamıştır. Ayrıca yalnızca belirli oranlarda un ikameleri (örneğin %25–50) incelenmiştir; farklı ikame seviyeleri deneysel ve duyusal sonuçları değiştirebilir. Gelecekteki araştırmalarda buğday ununun yerini alacak un karışımlarında oran optimizasyonu, farklı katkı maddesi veya enzim kombinasyonlarının etkileri incelenebilir. Örneğin, değişik baklagil tohumlarının (bezelye, soya vb.) veya kısmen çimlendirilmiş edilmiş baklagillerin kullanımı araştırılabilir. Enzim uygulamaları ve hidro-kolloid/yağ değişimleri ile tekstürel iyileştirme çalışmaları önem kazanacaktır. Tüketici düzeyinde geniş katılımlı duyusal değerlendirmeler ile bu formülasyonların kabul edilebilirlik sınırları ortaya konmalıdır. Ayrıca ürünlerin raf ömrü ve mikrobiyal güvenlik özellikleri (depolama testleri) detaylandırılmalıdır.

Geleneksel buğday bazlı ürünlerde glutenin azaltılması, yalnızca bir sağlık gerekliliği değil, aynı zamanda tarımsal biyoçeşitlilik ve kaynak verimliliği bağlamında sürdürülebilir bir gıda sistemi inşa etme stratejisidir. Psödo-tahıllar, tarıma çok elverişli olmayan marjinal topraklarda yetişebilme yetenekleri ve düşük çevresel girdi ihtiyaçları ile iklim değişikliğine karşı dirençli bir tarım modeli sunmaktadır (Schoenlechner & Bender, 2020). Bu çalışmada elde edilen bulgular, kinoa, amarant ve karabuğday ikamesinin gofretlerin protein ve mineral içeriğini artırarak besinsel sürdürülebilirliğe katkı sağladığını kanıtlamaktadır. Psödo-tahılların ekolojik avantajları, α-amilaz gibi enzim teknolojileriyle birleştirildiğinde, hammadde verimliliğini maksimize eden bir üretim süreci mümkün olmaktadır (Capozzi ve ark., 2020). Bu 'iklim-akıllı' hammaddelerin kullanımı, gıda sistemlerinde ürün çeşitliliğini artırarak hem ekolojik dengeyi korumakta hem de besin değeri yüksek, uzun raf ömürlü alternatifler sunmaktadır (Alvarez-Jubete ve ark., 2010).

Kaynaklar

Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 61*(3), 240–257. https://doi.org/10.1080/09637480902950597

Capozzi, V., Cocconcelli, P. S., & Morea, M. (2020). Sourdough fermentation and gluten reduction: A biotechnological application. *Frontiers Media SA.*

Demirkesen, I., Sumnu, G., & Sahin, S. (2013). Utilization of chestnut flour in gluten-free bread formulations. *Food and Bioprocess Technology, 6*(3), 838–846. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.07.017

Giménez-Bastida, J. A., & Zieliński, H. (2015). Buckwheat as a functional food and its effects on health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63*(36), 7896–7913. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02498

Gujral, H. S., & Rosell, C. M. (2004). Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase. *Journal of Cereal Science, 39*(2), 225–230. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.10.004

Hamzehpour, R., & Dastgerdi, A. A. (2023). The effects of quinoa and amaranth flour on the qualitative characteristics of gluten-free cakes. *International Journal of Food Science, 2023*, Article 6042636. https://doi.org/10.1155/2023/6042636

Houben, A., Höchstötter, A., & Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *European Food Research and Technology, 235*(2), 195–208

Mert, S., Sahin, S., & Sumnu, G. (2015). Development of gluten-free wafer sheet formulations. *LWT - Food Science and Technology, 63*(2), 1121–1127. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.035

Moreno, M. D. L., Comino, I., & Sousa, C. (2009). Alternative grains for celiac people: biochemical and molecular advances. *Biotechnology Advances, 27*(6), 895–904

Nielsen. (2014). *Snack attack: What consumers are reaching for around the world.* Retrieved from http://www.nielsen.com/content/dam/nielsenglobal/kr/docs/global%20report/2014/Nielsen%20Global%20Snacking%20Report%20September%202014.pdf

Sabanis, D., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). Development of fibre-enriched gluten-free bread: a response surface methodology study. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 60*(S4), 174–190. https://doi.org/10.1080/09637480902721196

Schoenlechner, R., & Bender, D. (2020). Pseudocereals for global food production. *Cereal Foods World, 65*(2). https://doi.org/10.1094/CFW-65-2-0014

Technavio. (2017). *Global Wafer Biscuit Market 2017–2021.* Retrieved from https://www.technavio.com/report/global-wafer-biscuit-market

Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 90*(15), 2541–2547. https://doi.org/10.1002/jsfa.4158

GLOBAL WARMING AND RIVER ECOSYSTEMS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Ertan Karahanlı[1], Aşkın TEKİN[2], Cengiz MUTLU[3]

[1] Department of Biology, Giresun University, Giresun-Türkiye,

Orcid: 0000-0002-3202-271X.

[2] Şebinkarahisar Health Servıces Vocatıonal School, Giresun University, Giresun-Türkiye,Orcid: 0000-0002-0362-9387.

[3] Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Giresun University, Giresun-Türkiye, Orcid: 0000-0002-9741-4167

Abstract: River ecosystems are directly affected by climate change due to increasing temperatures and irregular rainfall. Increasing temperatures reduce dissolved oxygen levels, posing a serious threat to fish and other aquatic organisms. Changes in the flow regime disrupt the environmental structure, leading to the spread of invasive species and loss of cold water species. This situation reduces biodiversity and ecological services and disrupts the natural cycle of rivers. In this study, the combined impacts of human activities and climate change on rivers were analysed. 3659 articles published between 1 January 2010 and 5 May 2025 were analysed. Using bibliometric visualisation tools, research centres and trends are presented with visual maps. Publication output, words in the title, author keywords and keywords by plus were analysed. In addition, the performance of variables such as co-authorship, authors, citation topics, countries, document types, languages, publication titles, years, publishers, research areas, researcher profiles, sustainable development goals and web of science categories were evaluated.

Keywords: Global warming, climate change, river systems, bibliometric analysis, ecology

INTRODUCTION

Global climate change, or in other words global warming, has become the focus of interdisciplinary research in recent years, especially in terms of its effects on river and water ecosystems, and there has been a significant increase in academic production in this direction (Gao et al., 2023). Climate change refers to long-term changes in temperature and weather patterns; the main cause of this phenomenon is the increasing emissions of greenhouse gases such as CO_2 and CH_4, especially since the industrial revolution (Romanello et al., 2021; Zhao et al., 2022). Global warming has multidimensional impacts on natural systems and threatens water resources and water quality by causing changes in temperature and evaporation processes, increases in precipitation and disruptions in the hydrological cycle in general (Huang et al., 2022). In particular, the temperature and thermal structure of rivers are severely affected by this climate change caused by human activities based on fossil fuel consumption. High air temperature causes intensification of thermal stratification, elevated surface water temperature, restricted vertical oxygen transport and oxygen depletion in the hypolimnion layer (Woolway et al., 2020; Livingstone, 2003; Jane et al., 2021). Along with these developments, scientific studies in the field of climate change have also increased remarkably. For example, the number of articles on climate change published between 2005 and 2014 increased sixfold (Aleixandre-Benavent et al., 2017). These studies are particularly concentrated in countries such as the United States and clustered around topics such as CO_2,

adaptation, modelling, temperature and impacts. According to Fu and Waltman (2022), a country's publication performance in this field is directly related to its level of economic development, geographical location and government policies. In addition, in recent years, the direction of research has moved beyond the causes and consequences of climate change and started to focus on solutions and intervention strategies. At this point, the bibliometric analysis method is frequently used to understand academic production in the literature, to identify trends and to analyse intellectual structure and collaborations. Bibliometric method is an ideal tool to reveal academic trends and scientific interactions in many fields such as climate change, human health, agriculture, water management. These studies, conducted using comprehensive databases such as Web of Science and Scopus, can reveal research patterns at both regional and global levels (Santos & Bakhshoodeh, 2021).

Grieneisen and Zhang (2011) analysed 110,139 publications on climate change between 1997 and 2009, revealing a significant increase in the number of publications and classified the publications into 253 topics and 10 main WoS categories. Similarly, Li et al. (2011) analysed 41,457 articles published between 1992 and 2009, while Zhao and Li (2015) examined 113,468 publications between 1993 and 2012 under the title of environmental assessment. These studies mapped the literature by identifying the most productive countries, major research areas and prestigious journals. Pasgaard and Strange (2013) evaluated approximately 15,000 publications for the period 1999-2010 and emphasised that there are serious inequalities in the production and access to climate change knowledge between developed and developing countries.

Artificial intelligence and machine learning approaches are increasingly used in research on the link between water quality and climate change. These technologies have a number of advantages over traditional statistical approaches, especially when it comes to modelling non-linear interactions and overcoming the shortcomings of observational data (Hsieh, 2009; Reichstein et al., 2019). By applying machine learning approaches to the meta-analysis of how climate change affects water temperature, it is emphasised how much more can be learned in this field (Karpatne et al., 2017).

MATERIAL METHODS

Data Source

Web of Science has developed the Web of Science information service platform to facilitate literary searches in the arts, humanities, natural sciences and social sciences. It contains a large number of publications from 2010 to the present, including books, journals, patents, conference proceedings, and online resources (including free and open resources) (Xu et al., 2022). For this study, bibliographic material on river ecosystems and global warming was searched in the Web of Science Core Collection database.

Data Collection

Without any start time restrictions, research article data on ‘Climate Change’ and ‘River Ecology’ were collected on 22 May 2025 using the Science Citation Index Expanded (SCI-E) and Social Science Citation (SSCI) of the Web of Science Core Collection database. To guarantee the comprehensiveness and scientific validity of the material collected for this study, relevant synonyms and terms were collected from dictionaries and published publications. The advanced search strategy was as follows: TS = ((("Global warm" OR "weather change" OR "climat* change" AND "Water Ecology" OR "River Ecology" "Global warming" AND "River Ecology" OR "Global warming" AND "River")). Titles, abstracts, authors, keywords and citation details were among the research data extracted from the WoS core collection database in text file format for analysis.

Bibliometric Tools

For the bibliometric study on river ecology and global warming, keyword analysis was performed in the Web of Science Core Collection database. VOSviewer (1.6.20) bibliometric software was used to analyse and visualise the data in detail. It was used to analyse important aspects of the literature on this topic as it includes comprehensive data retrieval, processing, analysis and visualisation methods (Aria and Cuccurullo, 2017).

RESULTS

Co-authorship and Network Structure Analysis in Academic Research

The academic partnerships on river ecology and global warming are shown in the collaboration network map in Figure 1. VOSviewer software was used in the bibliometric analysis for this study to visualise the authors with the most publications on a given topic who are also the most active in collaboration. The structure of the academic community, the degree of author collaboration and the focal points of these partnerships are shown in the tabular data and the visual network map. Individual authors are represented by nodes (points) in the network map, while collaborative publications are represented by links (edges) connecting these nodes. Clusters where authors work closely are indicated by authors clustered in the same colour. Authors around the centre of the map can be seen as researchers who have developed links with several clusters and are therefore at the centre of the field's collaboration network. According to the data tables, Chen Yaning is the author with the most publications with 24 articles and a total link strength of 69. However, Wang Yanjun is the author with the highest level of co-operation in this field with 81 link strength, although he is involved in only 12 publications. This shows that Wang works in close co-operation with various scholars despite writing fewer papers.

Similarly, two authors who stand out with their productivity and teamwork are Su, Buddha (12 documents, 79 links) and Zhai, Jianqing (10 documents, 68 links). It is noteworthy that these authors are among the bridge authors connecting other clusters, and the clusters they appear in the map are usually located in the core regions. However, authors such as Hiyama, Tetsuya et al. are positioned outside, in a more closed sub-group, and appear to form a separate cluster centred in Japan. This shows that regional partnerships can also be seen on the map.

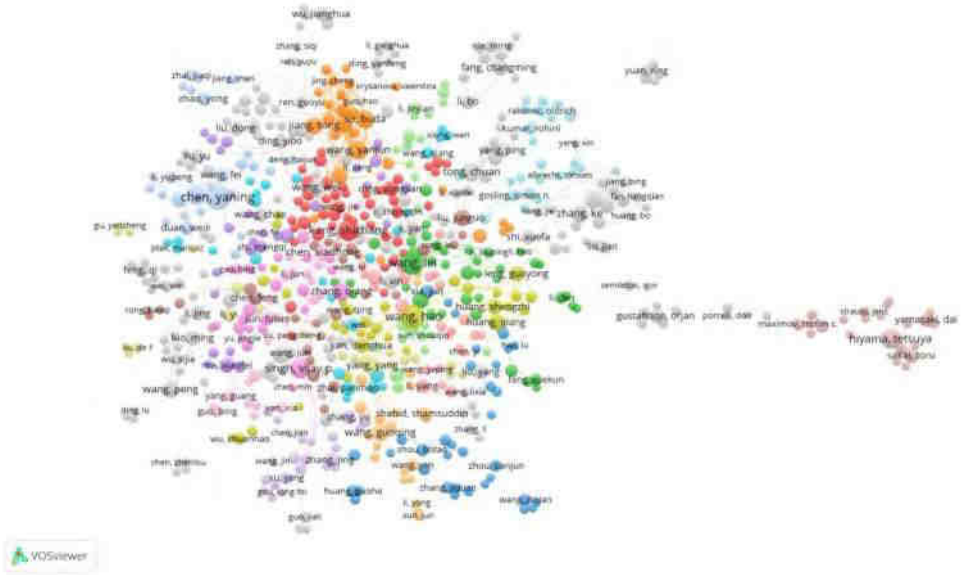


Figure 1 Co-authorship and network structure analysis (URL-1)

Distribution of Publications by Citation Subjects

The amount of publications and the overall strength of affiliation in the relevant academic discipline highlight the authors in this table 1. This information allows us to assess individual output as well as the degree of interaction within scientific collaboration networks. With 24 publications and 69 link strengths, Chen Yaning is numerically the most prolific author. This shows Chen's active participation in both solo and group author projects. However, Wang Yanjun has only 12 articles but has achieved a very high link strength of 81. This shows Wang's multifaceted partnerships with different scholars and his important position in the network. Similar to Wang, Su, Buddha has 12 publications and 79 contacts, indicating a similar degree of network centrality. Authors such as Zhai, Jianqing and Jiang, Tong are notable for their strong connections and position in scientific contact points. It is noteworthy that some authors, including Hiyama, Tetsuya and others, have relatively weak connections (29). It is possible that these authors work with little co-operation within a particular community or geographical area. This suggests that the literature has institutional or geographical groupings.

A thorough analysis reveals that a large number of publications alone does not equate to a strong collaboration; rather, academic impact and multidisciplinary relationships within the field are best understood when considered in conjunction with the link strength variable. In this context, bibliometric assessments of collaboration networks are crucial to determine the frequency and quality of academic interaction in addition to output.

Table 1 Distribution of Publications by Citation Subjects (URL-1)

Author	Number of Documents	Total Connection Power
chen, yaning	24	69
wang, hao	20	52
wang, lei	20	40

kang, shichang	16	41
hiyama, tetsuya	15	29
singh, vijay p.	13	30
li, zhi	13	43
tong, chuan	13	33
wang, yanjun	12	81
su, buda	12	79
zhang, qiang	11	33
chen, jie	11	31
wang, guoqing	11	63
feyen, luc	11	23
wang, wei	11	12
yang, yang	11	12
zhai, jianqing	10	68
jiang, tong	10	61
tao, hui	10	60

Distribution of the number of publications of institutions

The institutions that produce the highest number of publications in a given scientific subject are shown above together with the percentage of total publications. The results show that most of the scientific output in the field is concentrated in a small number of institutions. With 670 papers, the Chinese Academy of Sciences (CAS) is by far the largest contributor, accounting for 16.278 per cent of all publications. This ratio clearly shows that CAS, as China's national scientific institution, is at the forefront of research output in this field. With 283 publications and a contribution rate of 6.876 per cent, China's Ministry of Education ranked second, exemplifying how important research and education policies are for academic production. The list also included leading representatives of Chinese universities, including Nanjing University of Information Science and Technology and University of Chinese Academy of Sciences (UCAS). The data also includes credible European institutions outside China, such as the Helmholtz Association (Germany) and the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) (France). However, compared to the dominance of Chinese institutions, the respective contribution rates of 2.551 per cent and 2.065 per cent are rather low. This suggests that East Asia, especially China, is the geographical centre of scientific creativity (Table 2).

All things considered, institutional publishing data provide valuable insights into the distribution of institutions in global competition, the centralisation of scientific research and the effectiveness of national research strategies. Given how widespread Chinese institutions

are, a new power dynamic seems to be developing, both in the quantity of publications and in the production of knowledge worldwide.

Table 2 Distribution of the number of publications of institutions (URL-1)

Institution	Number of Publications	Percentage of Total (%)
Beijing Normal University	118	2.867
Centre National De La Recherche Scientifique Cnrs	105	2.551
China Meteorological Administration	169	4.106
Chinese Academy Of Sciences	670	16.278
Helmholtz Association	85	2.065
Institute Of Geographic Sciences Natural Resources Research Cas	104	2.527
Ministry Of Education China	283	6.876
Nanjing University Of Information Science Technology	148	3.596
Russian Academy Of Sciences	106	2.575
University Of Chinese Academy Of Sciences Cas	254	6.171

Distribution of authors according to the number of scientific publications

This treemap graph shows the total number of scientific publications of the authors and compares their degree of production in the field. Each box represents an author and the size of the box reflects the total number of publications of the author. Li Y. is the author with the highest production with 47 publications and has the largest area in the graph. This shows that Li Y. was the most active contributor to the relevant academic field during the period analysed. He is followed by Wang Y. (36 publications), Zhang Y. (43 publications) and Wang L. (35 publications). In terms of publication volume, these authors are also leading academic figures. For authors with a comparable number of publications, fields of similar size are displayed (e.g. Chen J. and Li J. with 27 publications each). As a result, it is easy to compare the authors' production levels. Furthermore, the tree map shows that author surnames are clustered. For example, many authors share surnames such as Wang, Li, Zhang and Chen. This suggests that a significant number of active academics represent popular surnames in the literature, especially in China (Figure 2).

All things considered, this graph effectively illustrates the prevalence of certain names in the literature and can be used in productivity-based author studies. However, the graph only shows the quantitative production component; it does not include qualitative information such as impact factor, citation amount and collaboration strength.

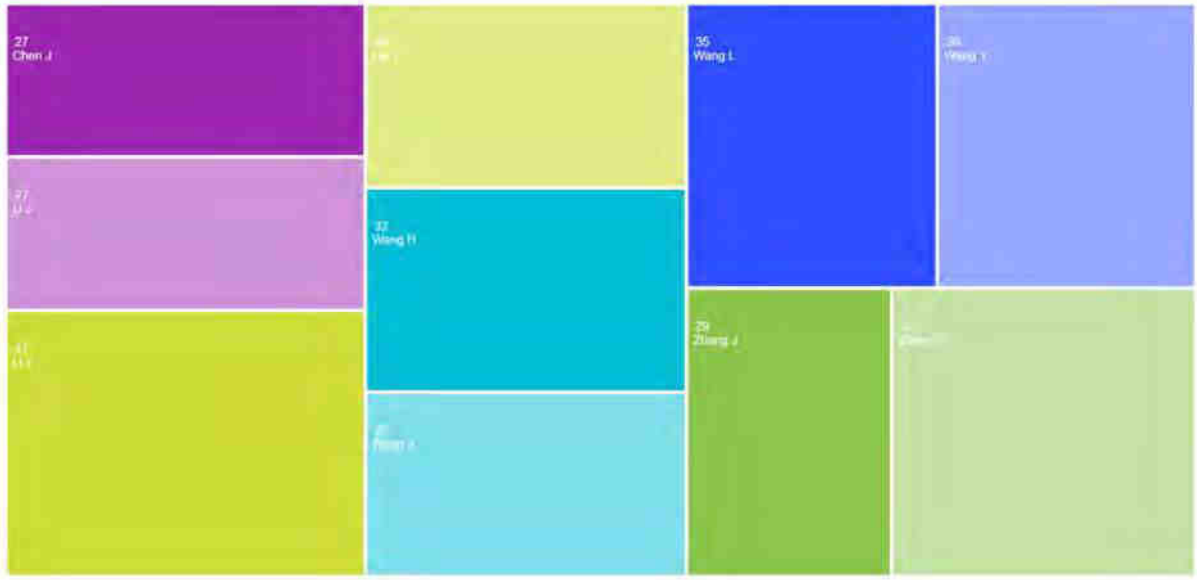


Figure 2 Distribution of authors according to the number of scientific publications (URL-1)

Distribution of countries according to academic productivity levels

The Treemap graph comparatively presents the academic productivity levels of countries in the analysed field. As can be clearly seen in the figure, the People's Republic of China (PRC) is by far the leader with 1,926 publications. This is a concrete indicator of China's heavy investment in scientific research in recent years and its publication performance, especially in disciplines such as environment, climate and hydrology. The United States of America (USA), which ranks second, follows China with 721 publications and maintains its important role in global scientific production. However, this difference between China and the USA shows that the centre of gravity in the literature has shifted to Asia. Countries such as Germany (Germany, 262 publications), Canada (234 publications) and Japan (233 publications) are among the countries with medium productivity and draw attention as countries with advanced research infrastructure in Europe and Asia. The UK, France, India and Australia also make notable contributions in terms of number of publications. Russia (139 publications), which has a lower number of publications, shows a relatively limited publication performance despite its potential in this field. This analysis is important for understanding regional concentrations of scientific production and research leadership. In particular, China's apparent dominance shows that it has become not only numerically superior but also a decisive actor in global science policies. This finding has important implications for co-operation, resource allocation and international science diplomacy (Figure 3).

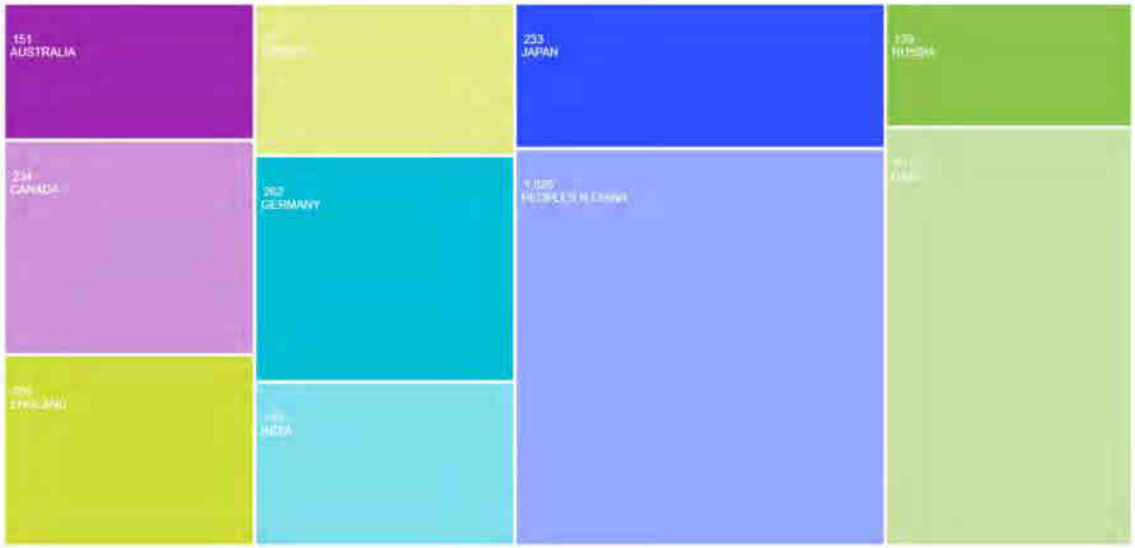


Figure 3 Distribution of countries according to academic productivity levels (URL-1)

Distribution of published documents according to their types

The documents published in the relevant field are categorised according to their types and the majority of them are peer-reviewed research articles (articles). 3,706 articles constitute a very large proportion of the total number of publications, indicating that the traditional article is still the main medium of scientific communication. The review article (181), which ranks second, reveals that review studies based on literature reviews also have a considerable place. Such studies play an important role in evaluating the general trends of the academic field and revealing research gaps (Figure 4).

Proceeding papers (271) consist of conference proceedings and are a critical genre to follow the dynamics of the field and early stage findings. Conference proceedings are particularly favoured in the fields of engineering, natural sciences and technology. While genres such as book chapters (59) and early access (36) also attract attention, less common genres such as editorial material (14), data paper (3), correction (2) and retracted publication (2) are also found in the field. These types are generally meta-documents related to the publication process and give an impression of the quality of the publication process rather than a direct contribution to productivity (Figure 4).

Figure 4 Distribution of published documents by type (URL-1)

Academic Distribution According to Publication Languages

The uploaded data shows the linguistic distribution of 4,116 academic publications. According to the results obtained, scientific communication in this field is almost entirely conducted in English. 4,066 records (98.785%) were published in English, which clearly demonstrates the dominance of English in the global academic system.

The number of non-English publication languages is quite limited. Spanish (12 entries, 0.292%), Russian (10 entries, 0.243%) and Chinese (6 entries, 0.146%) have higher rates compared to other languages. However, they remain marginal in the overall distribution. The other languages French, Japanese, Portuguese are represented by 0.097 per cent with 4 registrations each. Languages such as Croatian, German and Turkish are represented by only 2 entries (0.049 per cent). This shows that the total share of all languages other than English remains at a very low level of 1.215 per cent. These results once again confirm the necessity of publishing in English, especially for researchers who want to be visible in the international arena. In addition, too limited linguistic diversity carries the risk that local knowledge or regional issues may not reach a wider readership (Table 3).

In conclusion, publication language analyses are critical to the circulation, accessibility and inclusiveness of scientific knowledge. Such data can be particularly instructive for institutions or research support organisations seeking to develop multilingual publication policies.

Table 3 Academic Distribution According to Publication Languages (URL-1)

Language	Number of Publications	Percentage of Total (%)
Chinese	6	0.146
Croatian	2	0.049
English	4066	98.785
French	4	0.097
German	2	0.049
Japanese	4	0.097
Portuguese	4	0.097
Russian	10	0.243
Spanish	12	0.292
Turkish	2	0.049

Academic Publication Distribution by Journals

The journals with the highest number of publications in the analysed academic field and the percentage distribution of these journals in total publications. According to the data, publications are concentrated around certain journals and some journals have become the leading publishing platforms of the field.

Science of the Total Environment, which tops the list, has the highest publication volume with 135 publications (3,280%). This journal stands out as the most preferred platform for environmental sciences and interdisciplinary research. Journal of Hydrology (126 publications, 3,061%) and Water (113 publications, 2,745%) are the main publication channels for studies on water resources, hydrology and environmental sustainability (Table 4).

Other prominent journals include Sustainability (63 publications, 1,531%), Remote Sensing (60 publications, 1,458%) and International Journal of Climatology (51 publications, 1,239%). These journals reflect the intensity of publications in sub-disciplines such as climate change, environmental policies, sustainability and remote sensing (Table 4).

Publications in journals such as Atmosphere, Ecological Indicators, Environmental Research Letters are also significant and focus on environment, atmospheric sciences and ecological assessments.

This analysis is important in terms of showing in which publication channels the knowledge production in the field is concentrated. It also provides guidance for researchers in identifying target journals and creating publication strategies.

Table 4 Distribution of Academic Publications by Journals (URL-1)

Journal Name	Number of Publications	Percentage of Total (%)
ATMOSPHERE	50	1.215
ECOLOGICAL INDICATORS	47	1.142
ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS	44	1.069
INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY	51	1.239
JOURNAL OF HYDROLOGY	126	3.061
REMOTE SENSING	60	1.458
SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	135	3.28
SUSTAINABILITY	63	1.531
THEORETICAL AND APPLIED CLIMATOLOGY	51	1.239
WATER	113	2.745

Distribution of Publications by Publishing Houses

As the graph clearly shows, the publishing house with the highest number of publications is Elsevier. Elsevier is by far the leader in this field with more than 1,100 publications. This reflects Elsevier's strong journal portfolio in disciplines such as environmental sciences, hydrology, climate change and sustainability. In second place is Springer Nature, which makes a significant contribution with over 600 publications. Springer Nature is particularly prominent in the field of climate sciences and environmental indicators with its journals hosting multidisciplinary studies.

MDPI ranks third with around 450 publications, showing its growing influence in open access publishing. MDPI's journals such as 'Sustainability' and 'Water' are among the favourite publication channels in these fields. Publishers such as Wiley, Taylor & Francis, Amer Geophysical Union, Frontiers Media, Science Press, Copernicus Gesellschaft, and Nature Portfolio make lower but notable contributions.

Distribution of Publications by Subject Categories

Environmental Sciences is by far the subject area with the highest number of publications. With more than 1,700 publications, this is the main discipline where research is concentrated. This shows that environmental issues play a central role in interdisciplinary studies. The Geology and Water Resources categories, with ~850 and ~800 publications respectively, also reveal a strong representation of geophysical and hydrological aspects of environmental science. These fields are directly related to the analysis of natural systems and sustainable resource management. Meteorology, Atmospheric Sciences also attracts attention with approximately 700 publications, and this field is particularly important in research related to climate change and weather phenomena (Figure 5).

Other fields with moderate contributions are as follows:

- Engineering: 500 publications, representing an area where applied solutions are developed.

- Science Technology Other Topics: 350 publications, a typical category for studies with a strong interdisciplinary approach.

- Marine/Freshwater Biology: 250 publications, covering studies of marine and freshwater ecosystems.

- Agriculture: 220 publications are related to food security and land use issues.

Categories with relatively fewer publications include Biodiversity Conservation and Physical Geography, which may indicate a lesser focus compared to directly applied fields.

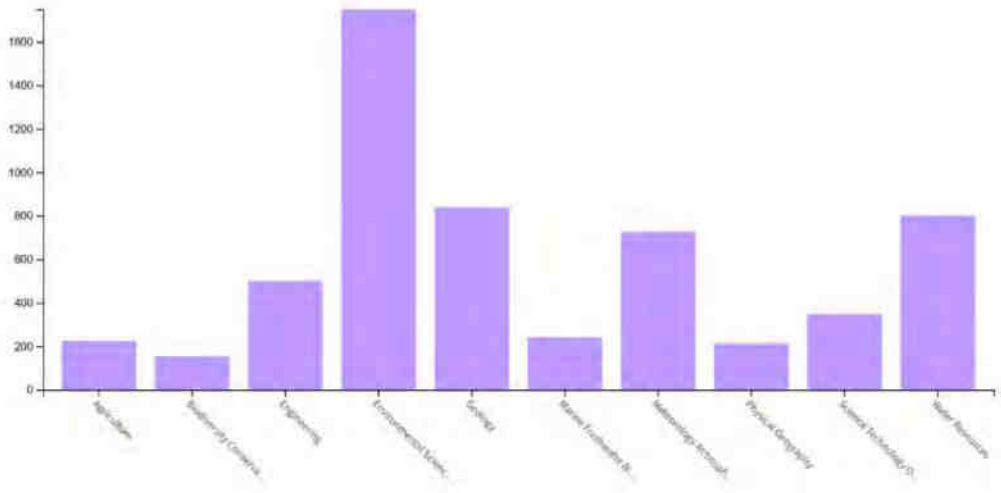


Figure 5 Distribution of Publications by Subject Categories (URL-1)

Publication Distribution by Author

Compares the number of publications of 10 authors. The author with the highest number of publications is Kang, Shichang, who is the most productive academic in the field with a total of 19 publications. He is followed by Ding, Yongjian (18 publications) and Hiyama, Tetsuya (16 publications). These names attract attention not only in terms of productivity but also in terms of their continuity in the literature. Authors such as Wang, Hao, Feyen, Luc and Wang, Yanjun are also in the range of 14-15 publications and stand out as active academic actors in the field. On the other hand, Chen, Ya-Ning, Tong, Chuan, SU, BU-Da and Tong, Chuan, Chen, Ya-Ning, Tong, Chuan and SU, BU-Da are also prominent with their central positions in the previous figures and show their productivity in this graph. The high number of publications of these authors, the fact that they mostly work in collaborative research groups and contribute to multi-authored publications are also seen in the bibliometric network maps. Although their high level of productivity does not necessarily mean that their academic impact is also high, these individuals are the main actors in the field in terms of scientific outputs (Figure 6).

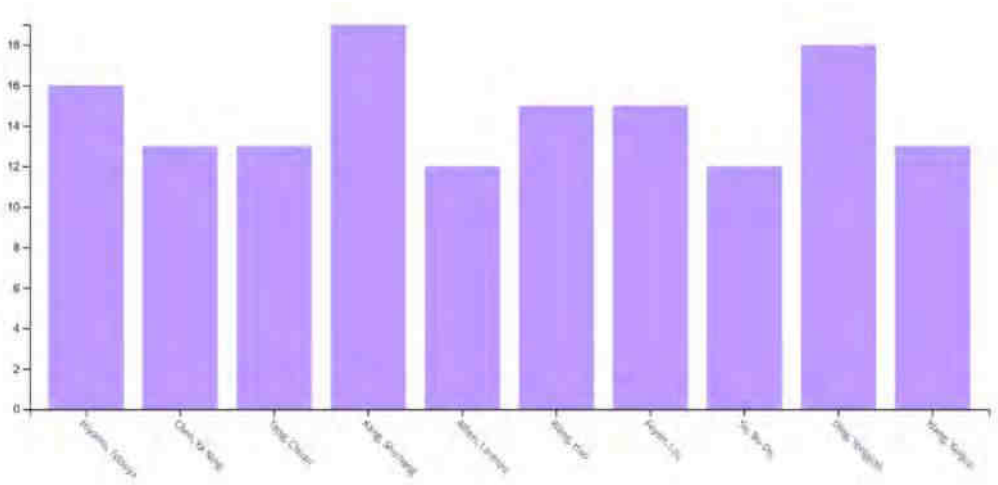


Figure 6 Author Based Publication Distribution (URL-1)

Web of Science Publication Breakdown by Subject Categories

The category that covers the largest area Environmental Sciences, topping the list with 1,512 publications. This shows that research is largely focussed on environmental issues and themes such as sustainability, climate change, pollution are at the forefront (Figure 7).

In second place are Geosciences Multidisciplinary (809 publications) and Water Resources (801 publications). These two categories reflect the hydrological and geoscientific dimensions of environmental studies. Similarly, Meteorology & Atmospheric Sciences (727 publications) reveals that publications on atmospheric processes and climate modelling occupy an important place ((Figure 5)..

Other notable categories (Figure 7):

- Ecology (about 320 publications): Indicates a strong interest in topics such as biodiversity and ecosystem dynamics.

- Civil Engineering (about 251 publications) and Environmental Engineering (167 publications): Represents a field where applied engineering solutions combine with environmental issues.

- Marine/Freshwater Biology (about 188 publications): Includes publications on the study of aquatic ecosystems.

- Physical Geography (about 213 publications): Another important category where spatial analysis and geographical processes are studied.

- Multidisciplinary Sciences (about 181 publications): Indicates that interdisciplinary approaches are gaining importance in the literature.

This distribution reveals that the reviewed literature is highly interdisciplinary and how environment-based issues are distributed across different academic fields. It also shows that research related to environment, water and climate is effectively addressed not only in basic sciences but also in engineering and applied sciences.

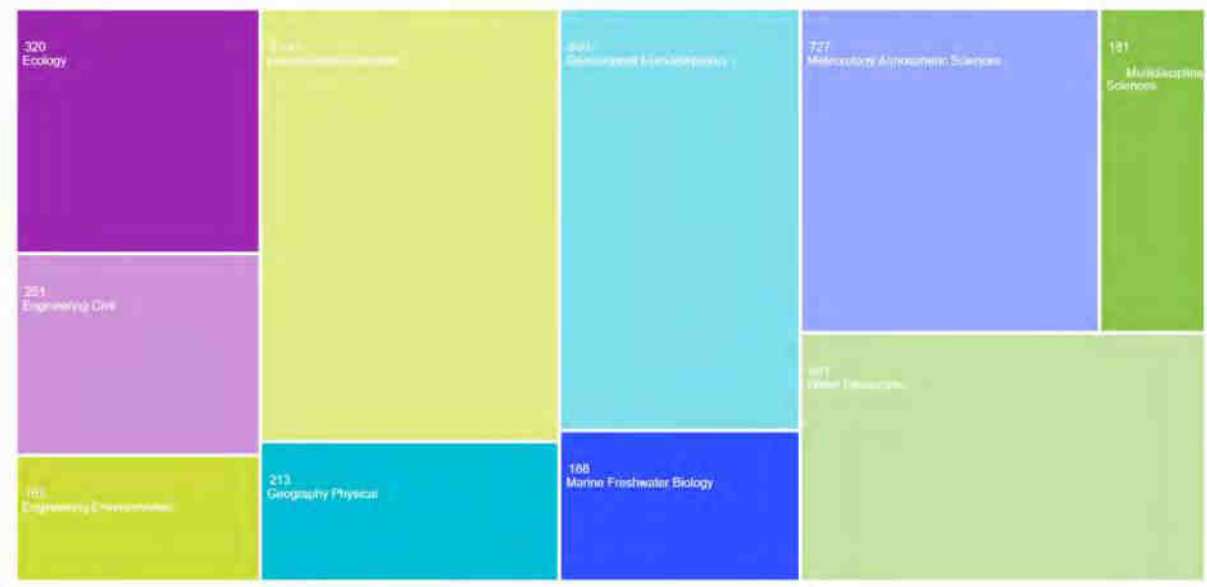


Figure 7 Distribution of Publications by Subject Categories in Web of Science (URL-1)

Distribution of Publications by Web of Science Citation Indexes

The box covering the largest area in the image belongs to Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED). There are 3,576 publications in this index, indicating that the work is largely published in fields such as natural sciences, engineering and environmental sciences. SCI-EXPANDED is one of the most prestigious scientific indexes in the world, and such a high concentration indicates the high academic activity of the field (Figure 8).

Other prominent indexes are:

- Conference Proceedings Citation Index - Science (CPCI-S): 265 publications. This indicates that the field has adopted a strong knowledge sharing structure through conference proceedings.

- Social Sciences Citation Index (SSCI): 226 publications. This indicates that the intersection of social sciences and environmental issues also occupies an important place.

- Emerging Sources Citation Index (ESCI): 221 publications. It reveals that emerging journals and topics are rapidly being included in the literature.

- Book Citation Index - Science (BKCI-S): 55 publications and BKCI - Social Sciences & Humanities (BKCI-SSH): 21 publications show that book chapters are also considered as research outputs (Figure 6).

Other indexes are (Figure 8):

Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities (CPCI-SSH): 17 publications.

Arts & Humanities Citation Index (A&HCI): 9 publications, indicating the field's low level of engagement with the arts and humanities.

This distribution shows that the publications are largely included in science and engineering-dominated indexes, and that scientific publications are produced through both journal articles and conference proceedings. It is also observed that social sciences contribute to a certain extent.

Figure 8 Distribution of Publications According to Web of Science Citation Indexes (URL-1)

Dıscussıon And Conclusıon

Using a bibliometric approach, this study examined the characteristics of publications, research foundations, research centers and evolutionary pathways of studies on climate change from 2010 to 2025. Through the application of bibliometric techniques, this study used global climate change to shed light on historical developments and trends. This approach is useful as it uses statistical and mathematical techniques to conduct a quantitative review of a significant amount of literature. The bibliometric analyses have revealed the structural, thematic, institutional and geographical aspects of academic production concentrated on natural sciences, especially environmental sciences, in a multidimensional manner. The findings go beyond mere quantitative data and provide an opportunity to analyze the organizational pattern and tendential aspects of scientific knowledge production.

First of all, an analysis of author collaboration networks shows that authors such as Chen, Yaning; Wang, Yanjun; and Su, Buda are at the center of the field not only for their productivity but also for their high total link strength. The bridging role of these authors between different clusters shows that they are critical actors in ensuring network-structural integrity in the research field. This situation, supported by treemap and bar chart data, reveals that the centers of gravity of the literature are shaped by collective production, not individual production.

In terms of institutional distribution, the Chinese Academy of Sciences is by far the institution that produces the most publications. In addition, institutions such as Hohai University, Lanzhou University and Beijing Normal University support this productivity with their different faculties, indicating a high level of interdisciplinary and institutional diversity. Nevertheless, the fact that this high volume of publications is mostly from China-based institutions suggests that the global power center of scientific production has shifted to Asia, reinforcing China's epistemic leadership role in environmental sciences.

Country-based analyses further deepen this conclusion. The People's Republic of China is the dominant actor in the global literature with 1,926 publications. It is followed by the USA (721), Germany (262), Canada (234) and Japan (233). This shows that the global North is still influential in international knowledge production, but that China has created a new paradigm in this axis.

In terms of publication types, the vast majority of research (more than 90%) was published in the form of peer-reviewed articles, indicating that traditional forms of academic production still prevail. However, review articles, book chapters and conference proceedings also contribute to some extent. This diversity points to the circulation of academic knowledge in different formats and the adoption of multiple channels of knowledge transfer.

Publisher analyses revealed that publishing giants such as Elsevier and Springer Nature still play a dominant role in literature production. However, the increase in the publication volume of MDPI, which adopts an open access model, shows that the trend of democratization in publishing is gaining momentum. In this context, the balance between the commercialization and accessibility of scientific knowledge will be discussed more in the future.

Analysis by subject category shows that environmental sciences, water resources, geosciences (Geosciences Multidisciplinary) and atmospheric sciences (Meteorology & Atmospheric Sciences) are at the forefront. This finding makes it clear that the scientific agenda is shaped around climate change, sustainable resource management and environmental crises. At the same time, the sub-fields of engineering and biology are also integrated with an environmentally-oriented approach. This interdisciplinary integration indicates that "sustainability sciences" has become a distinct knowledge regime in the academic literature.

A breakdown by Web of Science subject categories and citation indexes shows that the vast majority of publications appear in high impact factor indexes such as SCI-Expanded. This shows that publications in the field are strong not only quantitatively but also qualitatively and in terms of index visibility. Publications in sub-indexes such as ESCI, SSCI and CPCI have provided alternative outlets for newer or interdisciplinary approaches.

Finally, the fact that 98% of publications are in English clearly demonstrates the dominance of monolingualism in academic communication. While this emphasizes the necessity of publishing in English for international visibility, it also brings potential risks such as the marginalization of local knowledge production.

References

Aria, M. & C. Cuccurullo, 2017. bibliometrix: kapsamlı bilimsel haritalama analizi için bir R aracı. Journal of Informetrics 11(4): 959–975. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

Fu, H. Z., & Waltman, L. (2022). A large-scale bibliometric analysis of global climate change research between 2001 and 2018. *Climatic Change*, *170*(3), 36. https://doi.org/10.1007/s10584-022-03324-z.

Grieneisen, M. L., & Zhang, M. (2011). The current status of climate change research. *Nature Climate Change*, *1*(2), 72-73. https://doi.org/10.1038/nclimate1093.

Hsieh, W. W. (2009). *Machine learning methods in the environmental sciences: Neural networks and kernels*. Cambridge university press.

Huang, C., D. Zhao, X. Fan, C. Liu ve G. Zhao, 2022. Manzara dinamikleri, Çin'deki Üç Boğaz Rezervuarı alanının noktasal olmayan kaynaklı kirlilik kontrolünü ve bölgesel su güvenliğini kolaylaştırdı. Çevresel Etki Değerlendirmesi İncelemesi 92: 106696. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106696.

Jane, S. F., Hansen, G. J., Kraemer, B. M., Leavitt, P. R., Mincer, J. L., North, R. L., ... & Rose, K. C. (2021). Widespread deoxygenation of temperate lakes. *Nature*, *594*(7861), 66-70. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03550-y.

Karpatne, A., Atluri, G., Faghmous, J. H., Steinbach, M., Banerjee, A., Ganguly, A., ... & Kumar, V. (2017). Theory-guided data science: A new paradigm for scientific discovery from data. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, *29*(10), 2318-2331. 10.1109/TKDE.2017.2720168

Li, L., Li, Q., Tian, J., Wang, P., Wang, H., & Liu, Z. (2011). A 4-Ma record of thermal evolution in the tropical western Pacific and its implications on climate change. *Earth and Planetary Science Letters*, *309*(1-2), 10-20. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.04.016Get rights and content.

Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B., Jung, M., Denzler, J., Carvalhais, N., & Prabhat, F. (2019). Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature*, *566*(7743), 195-204. https://doi.org/10.1038/s41586-019-0912-1.

Pasgaard, M., & Strange, N. (2013). A quantitative analysis of the causes of the global climate change research distribution. *Global Environmental Change*, *23*(6), 1684–1693. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.08.013Get rights and content

Romanello, M., McGushin, A., Di Napoli, C., Drummond, P., Hughes, N., Jamart, L., ... & Hamilton, I. (2021). The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *The Lancet*, *398*(10311), 1619-1662.

Santos, R. M., & Bakhshoodeh, R. (2021). Climate change/global warming/climate emergency versus general climate research: comparative bibliometric trends of publications. *Heliyon*, *7*(11).

URL-1. https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search

Woolway, R. I., Kraemer, B. M., Lenters, J. D., Merchant, C. J., O'Reilly, C. M., & Sharma, S. (2020). Global lake responses to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, *1*(8), 388-403. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0067-5.

Xu, D., X. Yin, S. Zhou, Y. Jiang, X. Xi, H. Sun & J. Wang, 2022. A review on the remediation of microplastics using constructed wetlands: bibliometric, co-occurrence, current trends, and future directions. Chemosphere 303(Pt 1): 134990. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134990

Zhao, D., & Li, Y. R. (2015). Climate change and sugarcane production: Potential impact and mitigation strategies. *International Journal of Agronomy*, *2015*, 1–10. https://doi.org/10.1155/2015/547386. https://doi.org/10.1155/2015/547386.

Zhao, Q., P. Yu, R. Mahendran, W. Huang, Y. Gao, Z. Yang, T. Ye, B. Wen, Y. Wu, S. Li ve Y. Guo, 2022. Küresel iklim değişikliği ve insan sağlığı: yollar ve olası çözümler. Eco-Environment & Health 1(2): 53–62. https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.04.004.

SİVAS BELEDİYESİ ÇALIŞANLARININ EKOLOJİK AYAK İZİ FARKINDALIKLARI

Esin YILDIRIM,

Sivas Belediyesi, İklim De işikli i Birimi, Sivas, Türkiye,

Orcid: 0009-0006-4373-7776

Özet

Ekolojik ayak izi; bireylerin, toplulukların ya da herhangi bir faaliyetin tüketmiş olduğu kaynakları yeniden üretmek ve yarattıkları atıkları bertaraf etmek için gerekli olan verimli toprak ve su alanı olarak ifade edilmektedir. Bireysel ve toplumsal faktörlerin do ada yarattıkları etkilerin tespit edilmesidir. Bireylerin, ailelerin, şehirlerin, bölgelerin, ülkelerin ve hatta kıtaların dahi ekolojik ayak izi ölçümleri yapılabilmektedir (Schaller, 1999). Ekolojik Ayak İzinin Temel Bileşenleri WWF (2012)'ye göre: Ekolojik ayak izi, altı temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar, karbon tutma ayak izi, tarım arazisi ayak izi, orman ayak izi, otlak ayak izi, yapılaşmış alan ayak izi, balıkçılık sahası ayak izidir. Bireyler, erken yaşlarda aldıkları çevre e itimi ile birlikte ekolojik ayak izi kavramıyla karşılaştığında gelecekteki davranışlarını bugünden belirleyebilir ve tüketimin izlerini ayrıntılı bir şekilde görebilirler (Öztürk, 2010). Küresel anlamda sürdürülebilirlik, do anın taşıyabilme kapasitesi dikkate alınarak sağlanabilmektedir. Ekolojik Ayak 1zi kavramı içerisinde ilerideki doğmamış nesillere temiz ve korunmuş bir çevre bırakma düşüncesini barındırır. Bu düşünce, sürdürülebilirlik kavramı ile örtüşmektedir. Bu nedenle, Wackernagel ve Rees tarafından geliştirilen, Ekolojik Ayak 1zi kavramı sürdürülebilirlik düzeyini belirleyen bir kavramdır. Yaşamın sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi, kişilerin yaşam koşullarının ve ekonomik faaliyetlerinin dünyamızın taşıma kapasitesi dikkate alınarak düzenlenmesi ile gerçekleşebilir (Şimşek, 2020).

Anahtar kelimeler: Ekoloji, Gaziantep, Türkiye

Giriş

İnsanlar günlük hayatlarının bir parçası olarak kaynakları tüketir ve atık üretir. Her tüketilen kaynak ve üretilen atık, üretim ve emilim için belirli miktarda üretken arazi ve su gerektirir. Bu süreçleri sürdürmek için gereken biyolojik olarak verimli arazi ve su miktarı, ekolojik ayak izi olarak tanımlanır. Bu kavram, insan üretimi ve tüketiminin do a üzerindeki etkisini niceleyerek çevresel sürdürülebilirliğin önemli bir göstergesi olarak hizmet eder. Bu çalışma, Sivas Belediyesi'nin bir yan kuruluşu olan Özbelsan A.Ş.'in çalışanları arasında do al kaynak kullanım alışkanlıkları (gıda, su ve enerji tüketimi, ulaşım, konut, atık oluşumu ve genel tüketim kalıpları dahil) ile yaş, cinsiyet, e itim seviyesi ve gelir gibi çeşitli demografik değişkenler arasındaki etkileşimi belirlemeyi amaçlamaktadır. Türkiye9de bu konuda yapılan çalışmalar incelendi inde ekolojik ayak izinin kavramsal içeriği (Akıllı, Kemahlı, Okudan ve Polat, 2008) ele alınmasının yanı sıra farklı kademelerdeki öğrencilerin ekolojik ayak izi farkındalık düzeylerinin değerlendirildiği çalışmalar (Kurt, 2020; Sivrikaya, 2018; Çelik

Coşkun ve Sarıkaya, 2014; Keleş, 2011; Keleş, Uzun ve Özsoy, 2008; Şama, 2003) zengin bir literatür sunarken, Türkiye'de yaşayan 18 yaş ve üzeri tüketicilerin katılımcı olduğu çalışmalar (Güngör ve Kalburan, 2022; Demirkol ve Aslan, 2021; İnci, 2019; Özgen ve Demirci-Aksoy, 2017; Akyüz vd., 2016; Eren, Parlakay, Hilal ve Bozhüyük, 2017) sınırlıdır. Dünya üzerindeki doğal kaynaklar dünyanın her bir yanında hızla bozulmakta veya yok olmaktadır. Gıda, enerji, ulaşım, barınma gibi alanlardaki üretim ve tüketim alışkanlıklarımız doğal dünyayı yok olma sınırlarına dayandırmıştır (WWF, 2020). Çevre sorunlarının ortaya çıkmadan önlenmesi en etkili çözüm olarak görünmektedir (Urbańska, Charzyński, Gadsby, Novák, Şahin ve Yilmaz, 2022).

Materyal ve Metot

Nicel bir araştırma yaklaşımı benimsendi ve çalışma, anket modeli kullanılarak tasarlandı. Katılımcıların ekolojik ayak izi farkındalık seviyeleri önce tanımlayıcı istatistiklerle tanımlandı, ardından demografik değişkenlere göre anlamlı farklılıklar test edildi. Veriler gönüllü olarak toplanmıştır. Örneklem 195 katılımcıdan oluşuyordu. Demografik değişkenler arasında cinsiyet, yaş, eğitim seviyesi, gelir seviyesi, istihdam durumu, hizmet yılları, medeni durum, yaşam koşulları, çocuk sayısı, konut büyüklüğü ve oda sayısı yer alıyordu. Doğal kaynak kullanımının farkındalık seviyelerini ölçmek için yapılandırılmış bir ölçek kullanıldı. Cihazın bilimsel yeterliliğini sağlamak için güvenilirlik ve geçerlilik analizleri yapıldı. İstatistiksel anlamlılık 0.05 olarak belirlendi.

Bulgular ve Tartışma

Bu araştırmada, Sivas Belediyesi çalışanlarının ekolojik ayak izi farkındalık düzeylerinin belirlenmesi ve bu düzeylerin çeşitli demografik değişkenlere göre farklılaşıp farklılaşmadığının incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırma sürecinde toplam 222 katılımcıdan veri elde edilmiş; ancak eksik doldurulan formlar değerlendirme dışı bırakılmış ve analizler 195 geçerli katılımcı üzerinden yürütülmüştür.

Araştırma sonucunda, kullanılan ölçme aracının güvenilir ve analiz için uygun bir yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır. Ölçeğe ilişkin güvenirlik ve geçerlik bulguları, elde edilen verilerin istatistiksel olarak yorumlanabilir nitelikte olduğunu göstermektedir. Bu durum, araştırmadan ulaşılan sonuçların bilimsel açıdan belirli bir tutarlılık içinde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, katılımcıların ekolojik ayak izi farkındalığının tüm boyutlarda aynı düzeyde olmadığı, bazı konularda daha yüksek, bazı konularda ise daha sınırlı bir görünüm sergilediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çerçevede, katılımcıların çevresel sorunlara ve kaynakların sınırlılığına ilişkin bilişsel farkındalıklarının belirli ölçüde mevcut olduğu; ancak bu farkındalığın her zaman günlük yaşam pratiklerine aynı düzeyde yansımadığı görülmüştür. Başka bir ifadeyle, çevreye ilişkin bilgi ve duyarlılık ile davranışa dönüşen uygulamalar arasında tam bir örtüşme bulunmadığı anlaşılmaktadır.

Demografik değişkenlere göre yapılan incelemelerde, ekolojik ayak izi farkındalığının bazı değişkenler bakımından farklılaşabildiği görülmüştür. Özellikle cinsiyet değişkeni açısından bazı maddelerde kadın katılımcıların çevresel duyarlılık ve sürdürülebilir tüketime ilişkin daha yüksek ortalamalara sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte bu farklılığın tüm boyutlara ve tüm maddelere genellenmesi yerine, belirli bulgular çerçevesinde değerlendirilmesi daha uygun görünmektedir.

Yaş değişkenine ilişkin bulgular, bazı tüketim alışkanlıkları bakımından genç katılımcıların daha düşük çevresel duyarlılık gösterebildiğine işaret etmektedir. Ancak bu durumun bütün yaş grupları ve bütün davranış alanları için tek yönlü ve kesin bir yargı biçiminde sunulmasından kaçınılmalıdır. Bulgular, yaşın ekolojik ayak izi farkındalığı üzerinde etkili

olabilen değişkenlerden biri olduğunu düşündürmekle birlikte, bu etkinin madde ve konuya göre değişebildiğini ortaya koymaktadır.

Araştırmada dikkat çeken bir diğer sonuç, yaşam koşullarına ilişkin bazı değişkenlerin de ekolojik farkındalık üzerinde etkili olabilmesidir. Özellikle konutun fiziksel özellikleri ve yaşam alanına ilişkin bazı göstergelerin, bireylerin kaynak kullanımı ve doğadaki sınırlılıklara yönelik algılarıyla ilişkili olabildiği görülmüştür. Ancak bu bulgular yorumlanırken bazı gruplardaki katılımcı sayılarının sınırlı olabileceği göz önünde bulundurulmalı ve sonuçlar temkinli bir çerçevede değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak bu araştırma, Sivas Belediyesi çalışanlarının ekolojik ayak izi farkındalığının tek boyutlu değil, bilgi, tutum ve davranış eksenlerinde farklılaşabilen bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, çevreye ilişkin farkındalığın belirli ölçüde mevcut olduğunu; ancak bu farkındalığın davranışsal düzeyde güçlendirilmesine ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışma, kamu kurumlarında çevresel sürdürülebilirlik odaklı eğitim, farkındalık ve uygulama süreçlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilecek nitelikte sonuçlar sunmaktadır. Bulgular, yalnızca farkındalığı artırmanın çevre dostu davranışları teşvik etmek için yeterli olmayabileceğini gösteriyor. Sürdürülebilir günlük uygulamaları destekleyen ekonomik, sosyal ve yapısal düzenlemeler de gereklidir. Bu bağlamda, sürdürülebilir beslenme alışkanlıklarının teşvik edilmesi, gençler arasında çevre yanlısı davranışların güçlendirilmesi ve yerel üretime dair farkındalığın artırılması politika geliştirme için öncelikli alanlar olarak kabul edilmelidir.

İncelenen materyal:Sivas , Merkez ,Belediye Çalışanları,

Kaynaklar

Akıllı, H., Kemahlı, F., Okudan, K. Ve Polat, F. (2008). Ekolojik Ayak İzinin Kavramsal İçeriği Ve Akdeniz Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi'nde Bireysel Ekolojik Ayak İzi Hesaplaması, Akdeniz İkdisadi ve İdari Bilimler Dergisi, (15), 1-25

Akyüz, Y., Atış, E., Çukadar, M., & Salalı, E. (2016). Akademisyenlerin ekolojik etkilerinin incelenmesi: E.Ü. Ziraat Fakültesi Örneği. XII. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, 1427–1436.

Demirkol, M., & Aslan, İ. (2021). Sınıf öğretmenlerinin ekolojik ayak izi farkındalık düzeyleri. Journal of Computer and Education Research, 9(18), 904–928. https://doi.org/10.18009/jcer.901915

Eren, Ö., Parlakay, O., Hilal, M., & Bozhüyük, B. (2017). Ziraat Fakültesi akademisyenlerinin ekolojik ayak izinin belirlenmesi: Mustafa Kemal Üniversitesi örneği. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34(2), 138–145. https://doi.org/10.13002/jafag4315

Güngör, H., & Kalburan, F. N. C. (2022). Okul öncesi eğitim kurumu çalışanlarının ekolojik ayak farkındalık düzeylerinin belirlenmesi. International Journal of New Trends in Arts, Sports & Science Education (IJTASE), 1(1), 17–26.

İnci, E. İ. (2019). Antalya il merkezinin ekolojik ayak izinin ve halkın çevresel farkındalık düzeylerinin değerlendirilmesi. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya, Türkiye).

Keleş, Ö., Uzun, N., & Özsoy, S. (2008). Öğretmen adaylarının ekolojik ayak izlerinin hesaplanması ve değerlendirilmesi. Ege Üniveritesi Ege Eğitim Fakültesi Dergisi, 2(9), 1–14.

Keleş, Ö. (2011). Öğrenme halkası modelinin öğrencilerin ekolojik ayak izlerini azaltmasına etkisi. Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 10(3), 1143–1160

Kurt, P. (2020). Ortaokul 7. Ve 8. Sınıf düzeyinde ekolojik ayak izi ve karbon ayak izi konularına ilişkin durum tespiti: Bayramiç İlçesi örneği. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale, Türkiye).Özgen, U., & Demirci-Aksoy, A. (2017). Tüketicilerin ekolojik ayak izi farkındalık düzeyleri (Ankara İli Örneği). Third Sector Social Economic Review, 52(3), 46–65. https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.17.11.790

Özgen, U., & Demirci-Aksoy, A. (2017). Tüketicilerin ekolojik ayak izi farkındalık düzeyleri (Ankara İli Örneği). Third Sector Social Economic Review, 52(3), 46–65. https://doi.org/10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.17.11.790

Öztürk, G. (2010). İlköğretim 7. Sınıflarda Çevre Eğitimi İçin Ekolojik Ayak İzi Kavramının Kullanılması ve Değerlendirilmesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Schaller, D. (1999). Our Footprints-They're All Over the Place. Newsletter of the Utah Society for Enviromental Education, 9(4).

Şama, E. (2003). Öğretmen adaylarının çevre sorunlarına yönelik tutumları. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 2, 99–110.

Şimşek T. 2020. Bazı Demografik Özelliklere Göre Liseli Gençlerin Ekolojik Ayak İzi Farkındalıkları Ve Çevre Dostu Davranışları, Sosyal Bilimler Akademi Dergisi, 3(2):139-169

Urbańska, M., Charzyński, P., Gadsby, H., Novák, T.J., Şahin, S., & Yilmaz, M. D. (2022). Environmental threats and geographical education: Students' sustainability awareness—evaluation. Education Sciences, 12(1), 1–15. https://doi.org/10.3390/educsci12010001

WWF-Türkiye. (2012). *Türkiye'nin ekolojik ayak izi raporu*. WWF-Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı). https://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/turkiyenin_ekolojik_ayak_izi_raporu.pdf

WWF. (2020). Yaşayan Gezegen Raporu 2020 –Biyolojik Çeşitlilik Kaybını Tersine Çevirmek. https://wwftr.awsassets.panda.org/downloads/2020_yaayan_gezegen_raporu_ozet_10_09_2020.pdf

PAMUK BİTKİSİNDE (*GOSSYPİUM HİRSUTUM* L.) FARKLI MİKROBİYAL GÜBRE UYGULAMALARININ BAZI VERİM VE VERİM PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Ahmet Civan YAZMACI[1] Cevher İlhan CEVHERİ[2]

[1]Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri, Endüstri Bitkileri, Şanlıurfa, Türkiye, Orcid: 0009-0003-8915-7468

[2]Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri, Endüstri Bitkileri, Şanlıurfa, Türkiye, Orcid: 0000-0002-7070-2652

Özet

Pamuk (Gossypium hirsutum L.), günümüzde tarımsal üretim açısından önemli bir lif bitkisi olup, yüksek verim potansiyeline sahip olması ile öne çıkmaktadır. Ancak bu bitkinin verimliliği ve lif kalitesi, uygulanan gübreleme yöntemleri ile doğrudan ilişkilidir. Mikrobiyal ve kimyasal gübrelerin Pamuk bitkisine uygulanması hem çevresel sürdürülebilirlik açısından hem de verimlilik ve kalite iyileştirmeleri bakımından büyük bir özgün değere sahiptir. Mikrobiyal gübreler, doğal mikroorganizmalar içerdiğinden, toprağın biyolojik dengesini koruyarak uzun vadede toprak sağlığını iyileştirir. Pamuk bitkisine mikrobiyal gübre uygulamaları, toprak mikroflora ve faunasının desteklenmesine, azot gibi besin elementlerinin biyolojik yollarla daha verimli kullanılmasına olanak tanır. Ayrıca, mikrobiyal gübrelerin kullanımı, kimyasal gübrelerin olumsuz etkilerini azaltarak toprağın asidikleşmesini engeller ve ekosistem üzerindeki zararlı etkileri minimize eder. Bu deneme; Şanlıurfa – Viranşehir Yeşil Alıç mahallesinde 2025 yılı Pamuk üretim mevsiminde yürütülmüştür. Materyal olarak; Livzara çeşidi kullanılmıştır. Ekim işlemi tarla sürümleri yapıldıktan sonra Mayıs ayının ilk haftasında yapılmıştır. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre ve 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Denemede Parsel uzunluğu 10 m, sıra arası 75 cm, sıra üzeri 15 cm olacak şekilde 4 sıradan oluşmuştur. Parseller arasında 3 metre boşluk bırakılmıştır. Denemede incelenecek özelliklerden: Bitki Boyu 81,1 cm ile en düşük kontrol parselinden, en yüksek Mikroalg ve Mikoriza uygulanan parselden elde edilmiştir. Koza sayısı en düşük 8 tane ile kontrol parselinden, en yüksek 14 tane ile 1/2 Dap +1/2 Üre + Mikoriza uygulanan parselden elde edilmiştir. Koza Kütlü Ağırlığı en düşük 4,46 gr ile Dap + Üre parselinden, en yüksek 15,8 gr ile Dap + Üre + Mikoriza uygulanan parselinden elde edilmiştir. Çırçır Randımanı en düşük %44,54 ile ½ Dap + Üre parselinden, en yüksek %50 ile Mikroalg uygulanan parselden elde edilmiştir. Kültü pamuk verimi en düşük 271 kg/da ile kontrol parselinden, en yüksek 660 kg/da ile 1/2 Dap + Üre + Mikoriza uygulamasından elde edilmiştir. Bu çalışmada amaç pamuk bitkisinde Mikoriza ve Mikroalg gübrelemesinin pamukta verim parametrelerine etkisini belirlemek ve bundan sonraki çalışmalara yol gösterici olmaktır.

Anahtar kelimeler: Pamuk, Mikoriza, Mikrobiyal Gübre, Kütlü verimi.

Abstract

Cotton (Gossypium hirsutum L.) is a major fibre crop in modern agricultural production and is notable for its high yield potential. However, the crop's yield and fibre quality are directly linked to the fertilisation methods employed. The application of microbial and chemical fertilisers to cotton plants holds great intrinsic value both in terms of environmental sustainability and in terms of yield and quality improvements. As microbial fertilisers contain natural microorganisms, they preserve the soil's biological balance and improve soil health in the long term. The application of microbial fertilisers to cotton plants facilitates the support of soil microflora and fauna, as well as the more efficient utilisation of nutrients such as nitrogen through biological processes. Furthermore, the use of microbial fertilisers reduces the adverse effects of chemical fertilisers, preventing soil acidification and minimising harmful impacts on the ecosystem. This trial was conducted during the 2025 cotton production season in the Yeşil Alıç neighbourhood of Viranşehir, Şanlıurfa. The 'Livzara' variety was used as the test material. Sowing was carried out in the first week of May following field ploughing. The trial was set up as a randomised block design with three replicates. The trial plots consisted of four rows, with a plot length of 10 m, an inter-row spacing of 75 cm, and an intra-row spacing of 15 cm. A 3-metre gap was left between plots. Among the characteristics examined in the trial: Plant height ranged from a minimum of 81.1 cm in the control plot to a maximum in the plot treated with microalgae and mycorrhiza. The number of bolls ranged from a minimum of 8 in the control plot to a maximum of 14 in the plot treated with 1/2 DAP + 1/2 Urea + mycorrhiza. The lowest boll weight was 4.46 g from the DAP + Urea plot, and the highest was 15.8 g from the plot treated with DAP + Urea + Mycorrhiza. The lowest ginning yield was 44.54% from the ½ DAP + Urea plot, and the highest was 50% from the plot treated with Microalgae. Cotton lint yield was lowest at 271 kg/da in the control plot and highest at 660 kg/da in the plot treated with ½ DAP + Urea + Mycorrhiza. The aim of this study was to determine the effect of mycorrhiza and microalgae fertilisation on yield parameters in cotton and to provide guidance for future studies.

Keywords: Cotton, Mycorrhiza, Microbial Fertiliser, Lint yield.

Giriş

GAP Bölgesi pamuk üretiminde önemli bir paya sahip olup ülkemiz pamuk üretiminin yaklaşık %63'ü bu bölgemizde üretilmektedir. Pamuk günümüzde tekstil sektörünün en önemli hammaddesi konumundadır. Ülkemiz Dünya Pamuk üretiminde miktar üretimi, birim alandan elde edilen ürünler ve lif kalite özellikleri yönünden önemli bir yere sahiptir. Günümüzde pamuk üretiminde en önemli konu bitkinin sağlıklı bir ortamda büyütülmesi ve birim alandan maksimum verimin sağlanmasıdır. Birim alandan verimin yüksek olması bitkinin sağlam zeminde beslenmesine bağlıdır. Bitki beslemede makro ve mikro ve mikro bitki besin maddeleri kullanılmaktadır. Temel makro bitki besin maddelerinin kullanılması döviz fiyatlarının yüksek olması nedeniyle önemli bir maliyet unsuru olmaktadır. Ayrıca diğer taraftan sürdürülebilir çevre yönünden kimyasal gübrelerin gereğinden fazla kullanılması sakıncalıdır. Bu süreçte makro bitki besin maddelerine takviye ve destek olarak mikrobiyal gübreler ortaya çıkmaktadır. Mikrobiyal gübreler toprak ve bitki sağlığı açısından çok önemlidir. Özellikle mikoriza ve mikro alp bakterileri toprağın yarayışlılığının artması, bitki kök sisteminin gelişmesi ve vejetatif aksamın gelişmesinde önemli rol üstlenmektedir.

Tarımın sürdürülebilirliği için organik madde önemlidir. Türkiye topraklarının organik madde açısından durumu ise yeteri derecede zengin değildir. Buda yaklaşık ülkenin tamamı için geçerlidir. Organik gübre toprağı zenginleştirip aynı zamanda bitkilerin besin ihtiyacını karşılamaktadır ve olumsuz durumların ortadan kalkması için çok daha önemli bir duruma gelmiştir (Aygün ve Acar, 2004). Yeni bir biyogübre olarak alg biyokütlesi, içerdiği mikro

besinlerin yanı sıra makro besinler, bazı büyüme düzenleyicileri, poliaminler doğal enzimler karbonhidratlar, proteinler ve vitaminler sayesinde vejetatif büyümeyi iyileştirmek için ve verim artışı için önem arz etmektedir (Uysal ve ark., 2015). Verimli toprak, bitki gelişimini engelleyebilecek herhangi bir toksik elemente sahip olmadan bitki büyümesi için gerekli besinleri ve suyu tedarik edebilme yeteneğine sahiptir. Zira toprak verimliliği toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri tarafından kontrol edilmektedir ve tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamak için bu özellikler kritik bir öneme sahiptir (El-Naggar ve ark., 2019). Fiziksel kimyasal ve biyolojik toprak özellikleri iyileştirilerek toprakların üretkenlik kapasitelerini arttırmak için toprakların doğru bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Yapılan birçok araştırmada organik gübrelerin (hayvan gübresi, yeşil gübre, organik atıklar, kompost, biyoçar) toprakların organik madde kapsamlarını arttırdığı ve sonuçta fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak özelliklerini iyileştirdiği rapor edilmiştir (İgalavithana ve ark., 2015; Martinez ve ark., 2018).

Türkiye'de şimdiye kadar toplam 122 mantar türünün bulunduğu bildirilmiştir. Bunlardan birisi de Mikorizadır. Mikorizal mantar bitki kökünün korteksine (kabuğuna) yerleştikten sonra korteks içine hiflerini (mantar ipliği) salarak iç ortamın bir parçası olmaktadır. İçeride ve dışarıda hızla gelişen hifler dışardan içeriye su ve mineral madde, içerden dışarıya da organik madde sağlamaktadırlar. Bu simbiyoz ortak yaşam, doğası gereği çok aktif olup, ekosistemde besin döngüsü ve bitki canlılığının devamını sağlamaktadır. Mikorizal faaliyet için çevresel ısı ve nem, havalanma, ışık, organik madde varlığı gibi faktörler önemlidir. Yeryüzünde çok sayıda bitkinin mantarlarla simbiyotik bir ortaklık oluşturdukları tespit edilmiştir. Sonuç olarak, tarımsal alanda mikoriza kullanımının sağlanması ile, toprak verimliliği arttırılacak, girdi masrafı azaltılacak, karlılık ve ürün kalitesi arttırılacak ve tarıma dayalı çevre kirliliği azaltılmış olacaktır. Bu çalışmada Pamuk bitkisinin ekimden hasadına kadar geçen zamanda biyogübre ve inorganik gübrelemenin bazı verim parametrelerine ve lif kalite özelliklerine etkisini öğrenmek ve bundan sonra bu konuda çalışma yapacak araştırmacılara yol gösterici olmak amaçlanmaktadır.

Materyal ve Metot

Bu deneme; Şanlıurfa – Viranşehir Yeşil alıç mahallesinde 2025 yılı bahar döneminde yürütülmüştür. Materyal olarak; Livzara çeşidi kullanılmıştır. Vejetasyon süresi orta – geç sınıftadır. Kısa meyve dalları ve kloster yapıda koza bağlama özelliği sebebiyle sık ekim ve makinalı hasada son derece uygundur.

Deneme Yerinin Özellikleri

Toprak özelliği: Denemeyi kuracağımız yerin toprak özellikleri 0-20 cm arasında derinliğe sahip, %1,04 oranında organik madde miktarına sahip, PH seviyesi 8,06 olup %25,8 oranında kireçlidir. Deneme yeri düz ve düze yakın özelliğinde olup çok kireçli ve organik maddece fakirdir.

Bulgular ve Tartışma

Gübre Uygulamaları	Kütlü Verimi (kg/da)	Koza Kütlü Ağırlığı (g)	Bitki Boyu (cm)	Çırçır Randımanı (%)	Koza Sayısı (adet)
1	270.80 f	4.8	81.1	48.33	8.1 e
2.	359.37 ef	4.5	83.1	47.23	10.3 d
3.	411.68 de	4.7	84.6	44.54	10.6 cd
4.	428.55 cde	4.9	84.5	50.05	11.6bcd
5.	517.97 cde	4.9	86.2	45.90	13.3abcd
6.	523.03 cde	5.2	86.5	45.99	13.4abcd
7.	502.79 bcd	5.0	85.7	47.65	12.5 abc
8.	425.17 bcd	4.7	92.1	47.13	13.3 ab
9.	472.42 bcd	5.3	87.8	47.46	12.2 ab
10.	548.34 abc	4.5	86.1	46.42	12.3 ab
11.	659.70 ab	4.8	89.4	46.31	14.2 a
12.	629.33 a	4.9	85.4	47.19	13.7 a
Ortalama	479.95	4.8	86.1	46.97	12.0

1.Kontrol, 2. DAP+ Üre (20+15 kg/da), 3. ½ DAP+ Üre (10+7.5 kg/da), 4. Mikroalg, 5. DAP+ Üre (20+15 kg/da) Mikroalg (200 g/da), 6 .½ DAP+ Üre (10+7.5 kg/da) Mikroalg (200 g/da), 7. Mikoriza, 8. Mikoriza + Mikroalg, 9. DAP+ Üre (20+15 kg/da) Mikoriza (10 g/da), 10. DAP+ Üre (20+15 kg/da) Mikroalg (200 /da) + Mikoriza(10 g/da), 11. ½ DAP+ Üre (10+7.5 kg/da) Mikoriza (10 g/da), 12. ½ DAP+ Üre (10+7.5 kg/da) Mikroalg (200 /da) + Mikoriza(10 g/da).

Gübre uygulamaları kütlü verimi üzerinde çok önemli farklılık oluşturmuştur. En düşük verim 271 kg/da ile kontrol parselinden, en yüksek verim ise 660 kg/da ile ½ DAP + ½ Üre + Mikoriza (L) uygulamasından elde edilmiştir. Koza sayısında uygulama ortalamaları arasında çok önemli farklılık saptanmıştır. En düşük 8 adet/bitki ile kontrol parselinde, en yüksek 14 adet/bitki ile ½ DAP + ½ Üre + Mikoriza (L) uygulamasında elde edilmiştir. 100 tohum ağırlığında önemli farklılık belirlenmiştir. En yüksek değer 11.57 g ile Mikoriza (D) uygulamasından elde edilmiştirBitki boyu, odun dalı, meyve dalı, koza ağırlığı, çırçır randımanı, lif kopma dayanıklılığı, lif inceliği ve lif uzunluğu bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılık bulunamamıştır.

Zhang ve ark. (2020), AMF (arbüsküler mikoriza fungusları) uygulamasının pamuk bitkisinde kütlü verimini kontrol parsellerine kıyasla %28.54 oranında istatistiksel olarak önemli düzeyde artırdığını ve koza sayısının da artış gösterdiğini bildirmiştir.

Cevheri ve ark. (2021), Harran Ovası koşullarında yürüttükleri çalışmada mikrobiyal gübre uygulamalarının pamukta koza sayısı ve kütlü pamuk verimi üzerinde önemli düzeyde etkisinin olduğunu saptamış; özellikle mikrobiyal gübre + organik gübre kombinasyonlarının kontrol parsellerine göre belirgin üstünlük sağladığını bildirmiştir.

Sial ve ark. (2025), atıksu arıtımından elde edilen mikroalg biyokütlesinin (AB) pamuk bitkisinde (Gossypium hirsutum) sürgün uzunluğu, kök uzunluğu ve bitki biyokütlesini kontrol ve ticari gübre uygulamalarına kıyasla anlamlı düzeyde artırdığını; özellikle AB + DAP kombinasyonunun en yüksek büyüme parametrelerini verdiğini bildirmiştir. Bu sonuçlar bulgularımızla uyum arz etmektedir.

Sonuç

Bu çalışmanın bulgularına göre şöyle bir sonuç çıkarılabilir. Genel olarak değerlendirildiğinde, uygun ve dengeli gübre uygulamalarının pamukta özellikle koza oluşumunu artırarak kütlü verimini yükselttiği söylenebilir. Çalışmada 11. Uygulama olan ½ DAP+ Üre (10+7.5 kg/da)+ Mikoriza (10 g/da) ve 12. Uygulama olan ½ DAP+ Üre (10+7.5 kg/da) Mikroalg (200 /da) + Mikoriza(10 g/da) hem yüksek verim hem de yüksek koza sayısı bakımından öne çıkmış ve optimum gübreleme stratejileri olarak değerlendirilebilecek sonuçlar vermiştir. Buna karşılık düşük girdili veya yetersiz besleme koşullarını temsil eden uygulamalarda verim ve koza sayısı önemli düzeyde azalmıştır.

Not: Bu çalışma "Pamuk Bitkisinde (*Gossypium Hirsutum* L.) Farklı Mikrobiyal Gübre Uygulamalarının Bazı Verim ve Verim Parametrelerine Etkisi" başlıklı tez projesinden üretilmiştir.

Kaynaklar

Aygün, Y., & Acar, M. (2004). Organic fertilizers and their importance. Journal of Harvest, 228, 68-72.

Cevheri, C. İ., Yılmaz, A., & Beyyavaş, V. (2021). Harran ovası koşullarında yetiştirilen bazı pamuk (Gossypium hirsutum L.) çeşitlerine uygulanan organik ve mikrobiyal gübrelerin verim ve verim öğelerine etkisi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, *25*(1), 53-64. DOI: 10.29050/harranziraat.737298

El-Naggar, A., Lee, S. S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A. K., ... & Ok, Y. S. (2019). Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. Geoderma, 337, 536-554. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.09.034

Igalavithana, A. D., Shaheen, S. M., Park, J. N., Lee, S. S., & Ok, Y. S. (2015). Potentially toxic element contamination and its impact on soil biological quality in urban agriculture: A critical review. Heavy Metal Contamination of Soils: Monitoring and Remediation, 81-101.

Martínez, J. M., Galantini, J. A., & Duval, M. E. (2018). Contribution of nitrogen mineralization indices, labile organic matter and soil properties in predicting nitrogen mineralization. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 18(1), 73-89. DOI: 10.4067/S0718-95162018005000401

Sial, M. U., Lan, Z., Liu, J., Zhao, Y., Yan, J., & Ahmed, N. (2025). Algal biomass from wastewater treatment stimulates cotton (Gossypium hirsutum) growth and gene regulation. Journal of Plant Growth Regulation, 44(2), 891–905. DOI: 10.1007/s00344-025-11727-2

Uysal, O., Uysal, F. O., & Ekinci, K. (2015). Evaluation of microalgae as microbial fertilizer. European Journal of Sustainable Development, 4(2), 77-77. DOI: 10.14207/ejsd.2015.v4n2p77

Zhang, L., Zhang, W., & Wang, D. (2021). Biochar impacts soil fertility and crop productivity under sustainable land management practices. Agricultural Systems, 188, 103033.

PAMUKTA (GOSSYPİUM HİRSUTUM L.) FARKLI DEPOLAMA KOŞULLARININ LİF KALİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Yekta Nur KIRMIZI[1], Cevher İlhan CEVHERİ[2]

[1] Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri, Endüstri Bitkileri, Şanlıurfa, Türkiye, Orcid: 0009-0005-0387-1519

[2] Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri, Endüstri Bitkileri, Şanlıurfa, Türkiye, Orcid: 0000-0002-7070-2652

Özet

Pamuk (Gossypium hirsutum L.), tekstil sanayisinin en önemli doğal lif kaynaklarından biri olup, lif kalitesi ürünün ekonomik değerini doğrudan etkilemektedir. Lif kalitesinin korunmasında üretim aşaması kadar hasat sonrası uygulamalar ve depolama koşulları da önemli rol oynamaktadır. Özellikle çırçırlama sonrası balyalanarak depolanan pamuk liflerinin; sıcaklık, nem ve depolama süresi gibi çevresel faktörlerden etkilendiği, bu durumun lifin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde değişimlere neden olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, pamukta farklı depolama koşullarının lif kalitesi üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Araştırma, 2024 yılında Şanlıurfa ili Haliliye ilçesinde yetiştirilen pamuk materyali üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hasat sonrası çırçırlanarak balyalanan pamuk lifleri, lisanslı depo ve geleneksel depo koşullarında belirli sürelerle depolanmış ve depolama sürecinde meydana gelen kalite değişimleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Araştırmada; Lif uzunluğu, lif inceliği (mikroner) ve lif kopma dayanıklılığı (mukavemet) gibi temel lif kalite parametreleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, depolama koşullarının pamuk lif kalitesi üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Özellikle yüksek nem ve uygun olmayan depo koşullarında lifte sararma, kalite kaybı ve fiziksel özelliklerde bozulmalar meydana geldiği belirlenmiştir. Buna karşılık lisanslı depo koşullarında depolanan pamuk liflerinde kalite özelliklerinin daha iyi korunduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, kontrollü depolama koşullarının pamuk lif kalitesinin korunmasında önemli olduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen bulguların, pamuk üretimi, depolama uygulamaları ve tekstil sanayisinde kalite yönetimine katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pamuk, depolama koşulları, lif kalitesi, lisanslı depoculuk, HVI, nem.

Abstract

Cotton (Gossypium hirsutum L.) is one of the most important natural fibre sources in the textile industry, and fibre quality directly affects the economic value of the product. Post-harvest practices and storage conditions play just as important a role in preserving fibre quality as the production stage itself. It has been established that cotton fibres, particularly those baled and stored after ginning, are affected by environmental factors such as temperature, humidity and storage duration, and that this leads to changes in the fibre's physical and chemical properties. This study was conducted to determine the effects of different storage conditions on fibre quality in cotton. The research was carried out on cotton material grown in the Haliliye district of Şanlıurfa province in 2024. Cotton fibres, which were ginned and baled after harvest, were stored for specific periods under licensed warehouse and traditional storage conditions, and the quality changes occurring during the storage process were evaluated comparatively. The study examined fundamental fibre quality parameters such as fibre length, fibre fineness (micronage) and fibre breaking strength

(tenacity). The results obtained demonstrated that storage conditions have significant effects on cotton fibre quality. In particular, it was determined that under high humidity and unsuitable storage conditions, yellowing, quality loss and deterioration in physical properties occurred in the fibre. In contrast, it was found that the quality characteristics of cotton fibres stored under licensed warehouse conditions were better preserved. Consequently, it has been demonstrated that controlled storage conditions are important for preserving cotton fibre quality. It is considered that the findings obtained will contribute to quality management in cotton production, storage practices and the textile industry.

Keywords: Cotton, storage conditions, fibre quality, licensed warehousing, HVI, moisture.

Giriş

Pamuk, dünya tekstil sanayisinin temel hammaddelerinden biri olup ekonomik değeri yüksek stratejik bir tarım ürünüdür. Doğal lifler içerisinde geniş kullanım alanına sahip olan pamuk lifleri; tekstil, yağ, yem ve çeşitli sanayi alanlarında değerlendirilmektedir. Türkiye, dünya pamuk üretiminde önemli ülkeler arasında yer almakta olup özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi üretimde önemli paya sahiptir. Pamukta verim kadar lif kalite özellikleri de büyük önem taşımaktadır. Lif uzunluğu, lif inceliği (mikroner) ve lif kopma dayanıklılığı (mukavemet) gibi kalite kriterleri tekstil ürünlerinin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Lif kalite özellikleri; çeşit, iklim, yetiştirme koşulları, hasat zamanı, çırçırlama ve depolama gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Özellikle hasat sonrası depolama sürecinde oluşan yüksek sıcaklık ve nem koşulları lif yapısında bozulmalara neden olabilmektedir. Son yıllarda lisanslı depoculuk sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte depolama koşullarının standardizasyonu önem kazanmıştır. Kontrollü sıcaklık ve nem koşullarına sahip depoların lif kalite kayıplarını azaltabileceği düşünülmektedir. Bu çalışma, farklı depolama koşullarının pamuk lif kalitesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

Materyal ve Metot

Materyal

Araştırmada materyal olarak 2024 üretim sezonunda Şanlıurfa ili Haliliye ilçesinde yetiştirilen livzara çeşidi pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) lifleri kullanılmıştır. Hasat sonrası çırçırlanarak balyalanan pamuk lifleri araştırma materyalini oluşturmuştur.

Metot

Pamuk balyaları lisanslı depo ve geleneksel depo koşullarında belirli sürelerle (6 ay) depolanmıştır. Depolama süresince ortam sıcaklığı ve nem değerleri düzenli olarak takip edilmiştir.

Lif kalite analizleri HVI (High Volume Instrument) cihazı ile yapılmış; lif uzunluğu, micronaire değeri ve lif kopma dayanıklılığı ölçülmüştür. Verilerin değerlendirilmesinde varyans analizi (ANOVA) uygulanmış, ortalamalar arasındaki farklılıkların belirlenmesinde uygun çoklu karşılaştırma testi (LSD) testi kullanılmıştır.

LSD testi (Least Significant Difference testi); varyans analizi (ANOVA) sonrasında ortalamalar arasındaki farkların anlamlı olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir çoklu karşılaştırma yöntemidir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Lif İnceliği (Micronaire)

Pamukta lif inceliği**,** lifin çapının veya birim kütle başına düşen lif yoğunluğunun bir göstergesidir ve genellikle liflerin ne kadar ince ya da kalın olduğunu ifade eder. Tekstil açısından lif inceliği, iplik oluşumu, iplik mukavemeti, kumaş yüzeyi ve boyanabilirlik gibi

birçok kalite özelliğini doğrudan etkiler. Daha ince lifler genellikle daha yumuşak, daha düzgün yüzeyli ve yüksek kaliteli kumaş üretimine imkân verirken; daha kalın lifler daha kaba yüzeyli ürünler oluşturur. Pamukta lif inceliği çoğunlukla Micronaire değeri ile belirlenir. Micronaire, liflerin hava geçirgenliği esas alınarak hem incelik hem de olgunluk hakkında dolaylı bilgi veren bir ölçümdür. Düşük micronaire değerleri ince lifleri, yüksek değerler ise daha kalın ve/veya daha olgun lifleri ifade eder. Özetle lif inceliği, pamuk kalitesinin temel belirleyicilerinden biridir ve hem tarımsal üretim hem de tekstil sanayi açısından kritik öneme sahiptir.

Çizelge-1 Depolama Süreci sonunda Lif inceliklerine ait ortalama değerler ve oluşan gruplar.

Pamuk Çeşitleri	Depolama Koşulları	Zaman Dilimi							
		Başlangıç	1.Ay	2.Ay	3.Ay	4.Ay	5.Ay	6.Ay	Ort.
Livzara	Lisanslı Depo	5.16	4.70	4.70	4.40	4.78	4.50	4.90	4.81
	Normal Depo	5.00	4.76	4.76	4.96	4.94	5.06	4.48	4.77
	Ortalama	5.08	4.73	4.73	4.68	4.86	4.78	4.69	4.79
	LSD	Depolama K:Ö.D. Zaman Dilimi:0.1 Depolama*Zaman: Ö.D.							

Depolama koşullarının lif inceliği üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Ancak zaman faktörü lif inceliğinde belirgin değişim yaratmıştır. Başlangıçta 5.16 olan değer, 3. ayda 4.40'a kadar düşmüş, 6. ayda ise 4.90 seviyesine çıkmıştır. Bu durum pamuk liflerinin depolama süresine duyarlı olduğunu göstermektedir.

Lif Uzunluğu

Pamukta lif uzunluğu, tek bir pamuk lifinin ortalama boyunu ifade eder ve lif kalitesini belirleyen en önemli özelliklerden biridir. Genellikle milimetre veya inç cinsinden ölçülür ve HVI (High Volume Instrument) sistemi ile standart hale getirilmiş şekilde belirlenir.

Lif uzunluğu, iplik üretiminde hem iplik kalitesini hem de eğirme verimliliğini doğrudan etkiler. Daha uzun lifler, daha az lif ucu oluşturduğu için daha düzgün, daha dayanıklı ve daha ince iplik üretimine imkân sağlar. Kısa lifler ise daha fazla tüylülük (hairiness) ve iplikte zayıf noktalar oluşturarak kaliteyi düşürebilir. Özetle, lif uzunluğu pamukta iplik kalitesini belirleyen temel parametrelerden biridir ve özellikle yüksek kaliteli tekstil ürünleri için uzun lifli pamuklar tercih edilir.

Çizelge-2 Depolama Süreci sonunda Lif Uzunluklarına ait ortalama değerler ve oluşan gruplar.

Pamuk Çeşitleri	Depolama Koşulları	Zaman Dilimi							
		Başlangıç	1.Ay	2.Ay	3.Ay	4.Ay	5.Ay	6.Ay	Ort.
Livzara	Lisanslı Depo	28.45	29.24	29.24	28.48	28.31	28.06	28.56	28.62
	Normal Depo	28.45	28.01	28.01	27.83	27.92	28.14	27.83	28.02
	Ortalama	28.45	28.62	28.62	28.16	28.11	28.10	28.20	28.32
	LSD	Depolama K: 1.63 Zaman Dilimi: 0.35 Depolama*Zaman: 0.49							

Depolama koşullarının lif uzunluğu üzerinde anlamlı etkisi vardır. Lisanslı depoda lif uzunluğu daha iyi korunmuş (28.62 mm), normal depoda ise zamanla kayıplar gözlenmiştir (28.02 mm). Bu bulgu, kontrollü depolamanın lif uzunluğunu korumada avantaj sağladığını ortaya koymaktadır.

Lif Mukavemeti (Lif Kopma Dayanıklılığı)

Pamukta lif kopma dayanıklılığı, lifin çekme kuvvetine karşı gösterdiği dirençtir ve lif kopmadan önce taşıyabildiği maksimum yük miktarını ifade eder. Bu özellik, pamuk lifinin mekanik sağlamlığını belirler ve özellikle iplik üretimi sırasında liflerin kopmadan eğrilebilmesi açısından büyük önem taşır.

Lif kopma dayanıklılığı yüksek olan pamuklar, daha sağlam iplik ve daha dayanıklı kumaş üretimine olanak sağlar. Düşük dayanıklılığa sahip liflerde ise iplik üretiminde kopmalar artar, üretim verimliliği düşer ve nihai ürün kalitesi olumsuz etkilenir.

Pamukta lif kopma dayanıklılığı genellikle g/tex birimi ile ölçülür ve HVI (High Volume Instrument) sistemleri ile belirlenir. Bu değer, lifin hem genetik yapısı hem de yetiştirme koşulları gibi faktörlerden etkilenir.

Özetle, lif kopma dayanıklılığı pamuk kalitesinin en önemli göstergelerinden biridir ve tekstil endüstrisinde iplik kalitesini doğrudan belirleyen temel parametreler arasında yer alır.

Çizelge-3 Depolama Süreci sonunda Lif Mukavemetine ait ortalama değerler ve oluşan gruplar.

Pamuk Çeşitleri	Depolama Koşulları	Zaman Dilimi							
		Başlangıç	1.Ay	2.Ay	3.Ay	4.Ay	5.Ay	6.Ay	Ort.
Livzara	Lisanslı Depo	30.16	32.47	32.47	31.20	28.08	29.50	27.00	30.30
	Normal Depo	30.16	31.20	32.20	29.87	27.62	28.63	26.37	29.10
	Ortalama	30.16	31.83	31.83	30.53	27.85	29.06	26.68	29.70
	LSD	Depolama K: Ö.D. Zaman Dilimi:1.19 Depolama*Zaman: Ö.D.							

Depolama koşullarının lif mukavemeti üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Ancak zaman faktörü lif mukavemetinde belirgin değişim yaratmıştır. Başlangıçta 30.16 g/tex olan değer, 6. ayda 26.37 g/tex'e kadar düşmüştür. Bu durum depolama süresinin uzamasıyla mukavemet kaybının kaçınılmaz olduğunu göstermektedir.

Genel olarak, lisanslı depolarda lif uzunluğu ve mukavemet açısından daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bulgular, yüksek sıcaklık ve nem koşullarının lif kalite kayıplarını artırdığını bildiren önceki çalışmalarla uyumludur.

Araştırma bulguları, yüksek sıcaklık ve nem koşullarının lif kalite kayıplarını artırdığını bildiren önceki çalışmalarla uyum göstermiştir. Kontrollü depolama sistemlerinin pamuk lif kalitesinin korunmasında önemli avantaj sağladığı değerlendirilmiştir.

Depolama koşullarının pamuk lif kalite özellikleri üzerinde önemli etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Lisanslı depo koşullarında depolanan liflerde ise kalite parametrelerinin daha stabil kaldığı belirlenmiştir. Özellikle lif kopma dayanıklılığı ve lif uzunluğu değerlerinin kontrollü depolama koşullarında daha iyi korunduğu saptanmıştır.

Pamukta lif kalite özellikleri; genetik yapı, yetiştirme koşulları, hasat zamanı, çırçırlama işlemleri ve depolama koşulları gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Özellikle hasat sonrası uygulamalar ve depolama süreci, lifin fiziksel özelliklerinin korunması açısından kritik öneme sahiptir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, sıcaklık, nem ve depolama süresindeki değişimlerin pamuk liflerinde kalite kayıplarına neden olduğunu ortaya koymuştur.

Smith ve Cothren (1999), pamuk lif kalitesinin yalnızca üretim aşamasında değil, hasat sonrası süreçlerde de önemli ölçüde değişebileceğini bildirmiştir. Araştırıcılar, özellikle yüksek nem koşullarında lif yapısında bozulmalar meydana geldiğini ve uzun süreli depolamanın lif dayanıklılığını olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Bradow ve Davidonis (2000), pamuk lif kalite parametrelerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi üzerine yaptıkları çalışmada, lif uzunluğu, lif inceliği ve lif mukavemetinin tekstil sanayisi açısından temel kalite kriterleri olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar, depolama sürecinde oluşan çevresel değişimlerin liflerin fiziksel yapısını etkileyebileceğini ifade etmişlerdir. Başbağ ve ark. (2010), pamukta verim ve kalite özellikleri üzerine yürüttükleri araştırmada çevresel faktörlerin lif kalitesi üzerinde önemli etkileri bulunduğunu bildirmiştir. Özellikle yüksek sıcaklık ve nem koşullarının lif kalitesinde düşüşe neden olduğu belirtilmiştir. Özgüven ve Yavuz (2011), tekstil lifleri üzerine yaptıkları çalışmada pamuk liflerinde kaliteyi belirleyen temel kriterlerin lif uzunluğu, lif inceliği ve lif mukavemeti olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, uygun olmayan depolama koşullarında liflerde sararma, kırılganlık ve kalite

kayıplarının oluşabileceğini bildirmiştir. Kothari ve ark. (2017), tekstil sanayisinde pamuk lif kalite gereksinimlerini değerlendirdikleri çalışmalarında, lif uzunluğu ve lif mukavemetinin iplik kalitesi açısından büyük önem taşıdığını belirtmişlerdir. Araştırmada, lif özelliklerinde meydana gelen küçük değişimlerin dahi iplik performansını doğrudan etkileyebileceği ifade edilmiştir. Sundar ve Udayakumar (2020), pamuk ürünlerinin sanayi kullanım alanlarını değerlendirdikleri çalışmalarında, pamuk liflerinin ekonomik değerinin korunabilmesi için uygun depolama sistemlerinin geliştirilmesinin önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Saraç (2025), farklı lokasyonlarda yetiştirilen bazı pamuk çeşitlerinin lif kalite özelliklerini incelemiş ve çevresel koşulların lif uzunluğu ile lif mukavemeti üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu bildirmiştir. Araştırmada özellikle sıcaklık ve nem değişimlerinin lif kalite parametrelerini etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Yukarıdaki araştırmacıların bulguları bizim bulgularımız ile benzerlik taşımaktadır.

Yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, depolama süresi ile birlikte sıcaklık ve nem koşullarındaki değişimlerin pamuk lif kalitesinde kayıplara neden olduğu görülmektedir. Kontrollü depolama sistemlerinin ise lif kalite özelliklerinin korunmasında önemli avantajlar sağladığı bildirilmektedir. Bu nedenle lisanslı depoculuk sistemlerinin pamukta kalite kayıplarının azaltılması açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir.

Sonuç

Bu araştırmada, farklı depolama koşullarının pamuk lif kalite özellikleri üzerine etkileri incelenmiş ve depolama ortamı ile depolama süresinin lif kalitesi üzerinde önemli değişimlere neden olduğu belirlenmiştir. Araştırma sonucunda, özellikle lisanslı depo koşullarında depolanan pamuk liflerinde kalite parametrelerinin daha stabil kaldığı tespit edilmiştir. Lif inceliği (micronaire) bakımından depolama koşulları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark belirlenmemiş, ancak depolama süresinin ilerlemesiyle birlikte değerlerde değişimler meydana gelmiştir. Bu durum, lif inceliğinin zaman faktöründen etkilendiğini göstermiştir. Lif uzunluğu bakımından ise lisanslı depo koşullarının daha olumlu sonuç verdiği belirlenmiştir. Kontrollü sıcaklık ve nem koşullarına sahip lisanslı depolarda lif uzunluğu daha iyi korunurken, normal depo koşullarında zamanla kalite kayıpları oluşmuştur. Bu sonuç, uygun depolama sistemlerinin lif yapısının korunmasında önemli rol oynadığını ortaya koymuştur. Lif kopma dayanıklılığı açısından depolama koşullarının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamış olsa da, depolama süresinin uzamasıyla birlikte mukavemet değerlerinde düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. Özellikle uzun süreli depolamada lif dayanıklılığının azalması, tekstil sanayisi açısından kalite kaybı riski oluşturmuştur. Genel olarak değerlendirildiğinde, yüksek sıcaklık ve nem içeren uygun olmayan depo koşullarının pamuk lif kalitesini olumsuz etkilediği, kontrollü depolama sistemlerinin ise kalite kayıplarını azaltmada önemli avantaj sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle lisanslı depoculuk sistemlerinin yaygınlaştırılmasının, pamukta kalite korunumu ve tekstil sanayisinde hammadde standardizasyonu açısından önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Not: Bu çalışma "Pamukta (*G. hirsutum L.)* Farklı Depolama Koşulları ve Bekleme Sürelerinin Lifin Fiziksel ve Kimyasal Kalite Değişimine Etkisi." başlıklı tez projesinden üretilmiştir.

Kaynaklar

Başbağ, S., Ekinci, R., Gençer, O. (2010). Pamukta verim ve kalite özellikleri üzerine araştırmalar. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*. 17(2), 85-94.

Bradow, J. M., Davidonis, G. H. (2000). Quantitation of fiber quality. *Journal of Cotton Science*. 4(1), 34-64.

Kothari, V. K., Sinha, S., Patel, P. (2017). Cotton fibre quality requirements in textile processing. *Textile Progress*. 49(1), 1-39. https://doi.org/10.1080/00405167.2017.1304592

Meredith, W. R. (1984). *Cotton fiber quality*. Washington DC: USDA Agricultural Research Service.

Özgüven, M., Yavuz, M. (2011). *Tekstil lifleri ve özellikleri*. İzmir: Ege Üniversitesi Yayınları.

Özüdoğru, T. (2023). *Türkiye pamuk üretim verileri ve değerlendirmesi*. Ankara: Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Raporları.

Saraç, M. F. (2025). *Bazı pamuk (Gossypium hirsutum L.) çeşitlerinin farklı lokasyonlardaki verim ve lif kalite özelliklerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Şanlıurfa, 89 s.

Smith, C. W., Cothren, J. T. (1999). *Cotton: Origin, history, technology, and production*. New York: John Wiley & Sons.

Sundar, S., Udayakumar, M. (2020). Cotton seed oil as a biodiesel feedstock: A review. *Renewable Energy Reviews*. 12(4), 211-219.

ORMAN YANGINI SONRASI YÜZEY ÖRTÜSÜNÜN TRANSECT TABANLI KARAKTERİZASYONU: YANMA ŞİDDETİ, ORGANİK ÖRTÜ KORUNUMU VE YEŞİLLENME GÖSTERGELERİ

Salih MALKOÇOĞLU[1], Ergün KAHVECİ[2]

[1]Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Köyceğiz Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Muğla, Türkiye, Orcid: 0000-0002-9599-628X

[2]Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Niksar Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Tokat, Türkiye, Orcid: 0000-0003-2178-4302

Özet

Orman yangınlarının ekolojik etkilerinin hızlı ve tekrar üretilebilir biçimde arazi doğrulaması, uydu tabanlı yangın şiddeti indislerinin (dNBR, RdNBR) operasyonel kullanımını desteklemek açısından önemlidir. Bu çalışma, Köyceğiz Akköprü orman yangını (Ekim 2025) sonrasında uygulanan transect tabanlı bir yüzey örtüsü envanterinin yanma şiddetini, organik örtü korunumunu ve erken dönem yeşillenme sinyallerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Arazi çalışması yangından yaklaşık beş ay sonra, Mart 2026'da gerçekleştirilmiştir. Yangın sahası içinde 100 m² büyüklüğünde 73 karesel örnek alanda, Kuzey-Güney (KG) ve Doğu-Batı (DB) doğrultularında 1 m aralıklı toplam 22 transect noktası örneklenmiştir. Her noktada yüzey örtüsü; mineral zemin (MZ), kül/kor (KK), iğne ölü örtü (İÖ), ince odunsu artık (İO), kalın odunsu artık (KO), canlı örtü (CÖ) ve taş/kaya (TK) kategorilerinden biriyle kaydedilmiştir. Yangın şiddeti Sentinel-2 tabanlı dNBR ve RdNBR değerlerinden türetilmiş; topoğrafik ilişkiler için eğim, yükselti ve güneşlenme indeksi (SEI), yapısal ilişkiler için Hansen Global Forest Change verisinden elde edilen ağaç örtüsü oranı kullanılmıştır. Örnek alanlar ortalama olarak %28,1 MZ, %23,9 TK, %14,4 İÖ, %13,0 İO, %10,8 CÖ, %5,0 KO ve %4,8 KK bileşimine sahiptir. KK oranı ile dNBR arasında pozitif ilişki bulunmuş ($\rho = 0,36$; $p = 0,002$) ve şiddet sınıfları arasında anlamlı farklılık tespit edilmiştir ($H = 10,18$; $p = 0,038$). İÖ ile RdNBR arasında negatif korelasyon belirlenmiştir ($r = -0,32$; $p = 0,007$). CÖ ile NDVI ve yükselti arasında pozitif ilişkiler bulunmuştur (sırasıyla $r = 0,46$; $p < 0,001$ ve $r = 0,34$; $p = 0,003$). KG ve DB doğrultulu transectler arasında yüzey örtüsü kompozisyonu bakımından anlamlı farklılık saptanmıştır ($\chi^2 = 15,27$; $p = 0,018$). Sonuç olarak, transect tabanlı envanter; hızlı uygulanabilirliği ve standartlaştırılabilir yapısı ile Akdeniz ekosistemlerinde yangın sonrası değerlendirme çalışmalarına katkı sağlayabilir.

Anahtar kelimeler: dNBR, Köyceğiz orman yangını, transect yöntemi, yanma şiddeti, yeşillenme, yüzey örtüsü

1. Giriş

Akdeniz havzası, iklim koşulları ve bitki örtüsü özellikleri nedeniyle yangına bağımlı (fire-prone) ekosistemler içermektedir. Bu sistemlerde orman yangınları yapısal, fonksiyonel ve süreçsel açıdan belirleyici bozulma etmenlerinden biri olarak görülmektedir (Pausas ve Keeley, 2009). Türkiye'nin Akdeniz ve Ege kıyı kuşaklarında baskın olan *Pinus brutia* ormanları, yüksek yangın frekansı ve yer yer büyük örtü kaybı ile karakterize edilmekte; özellikle son yıllarda artan büyük ölçekli yangın olayları, yanma sonrası alanlarda hızlı, tekrar

üretilebilir ve maliyet etkin değerlendirme protokollerine olan gereksinimi artırmıştır (Tavşanoğlu ve Pausas, 2018).

Yangın etkisinin uzaktan algılama ile değerlendirilmesinde, Normalized Burn Ratio (NBR) ve bunun yangın öncesi ile sonrası farkı olan dNBR ile göreli formu RdNBR yaygın biçimde kullanılan indislerdir (Key ve Benson, 2006; Miller ve Thode, 2007). Bu indisler, yanma şiddetinin geniş alansal dağılımını hızla haritalandırabilse de, arazi düzeyinde gerçek yüzey örtüsü kompozisyonu ile ne ölçüde örtüştüğü kritik bir araştırma sorusudur. Piksel düzeyinde okunan spektral değişim, mineral zemin, kül/kor birikimi, iğne ölü örtü korunumu ve canlı bitki örtüsü gibi farklı ekolojik bileşenlerin toplam etkisini yansıtmaktadır (Lentile ve diğ., 2006; Keeley, 2009). Bu nedenle, uydu tabanlı şiddet indislerinin arazi doğrulaması (ground validation), yangın sonrası karar destek süreçlerinin güvenilirliği açısından zorunlu görülmektedir.

Yangın sonrası yüzey örtüsünün arazi karakterizasyonunda Composite Burn Index (CBI) ve geniş ölçekli alan tabanlı protokollerin yanı sıra, hat (line-transect) ve nokta (point-intercept) yöntemleri etkin biçimde kullanılmaktadır (Pyke ve diğ., 2002). Nokta-intercept yaklaşımı, gözlemcinin nispeten kısa sürede çok sayıda nokta üzerinde standartlaştırılmış kayıt yapmasına olanak tanır ve elde edilen yüzde değerleri, alan içi heterojenliğin nicel bir ölçütünü oluşturur. Bu özellik özellikle yangın sonrası gibi yüksek mekânsal değişkenliğin gözlendiği alanlarda, küçük ölçekli kompozisyon farklılıklarını yakalamak için elverişlidir.

Bu çalışmada, Ekim 2025'te meydana gelen Köyceğiz-Akköprü orman yangını sonrasında uygulanan transect tabanlı yüzey örtüsü envanterinin sonuçları sunulmaktadır. Çalışmanın temel amaçları şunlardır. Yanmış sahada farklı yüzey örtü kategorilerinin oransal dağılımını belirlemek, bu dağılımın Sentinel-2 türevli dNBR ve RdNBR yanma şiddeti indisleri ile ilişkisini değerlendirmek, topoğrafik ve yapısal değişkenlerin yüzey örtüsü bileşenleri üzerindeki etkilerini incelemek ve aynı örnek alan içindeki KG ile DB doğrultulu transectler arasında kompozisyon farklılığı bulunup bulunmadığını test etmektir. Çalışmanın özgün katkısı, yanma şiddeti, organik örtü korunumu, mineral zemin açığa çıkışı ve erken dönem yeşillenme göstergelerinin aynı arazi tasarımı üzerinde birlikte değerlendirilmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı, Muğla ili Köyceğiz ilçesi Akköprü mevkiinde Ekim 2025'te meydana gelen ve yaklaşık 2.309 ha alanı etkileyen orman yangını sahasında yer almaktadır. Bölge, Akdeniz iklim kuşağı içinde, sıcak-kurak yazlar ve ılık-yağışlı kışlarla karakterize edilmektedir. Egemen bitki örtüsü, kızılçam (*Pinus brutia*) baskınlığında olup yer yer maki elemanları ve karışık meşcerelerle temsil edilmektedir. Yangın sahası, denizden yaklaşık 156-578 m yükseklik aralığındadır.

2.2. Örnekleme tasarımı ve arazi çalışması

Arazi çalışması, yangından yaklaşık beş ay sonra, mart 2026'da gerçekleştirilmiştir. Bu dönem, çalışma sahasında kül/kor materyalinin kısmen korunabildiği, ince ve kalın odunsu artıkların arazi üzerinde ayırt edilebildiği ve erken dönem canlı örtü gelişiminin gözlenmeye başladığı bir zaman dilimi olarak değerlendirilmiştir.

Yanmış saha içinde farklı yanma şiddeti sınıflarını, yükselti ve eğim koşullarını temsil edecek şekilde 73 örnek alan belirlenmiştir. Her örnek alan 10 m × 10 m boyutunda, 100 m² büyüklüğünde karesel alan olarak tasarlanmıştır. Karesel alanın merkezinden geçen Kuzey-Güney (KG) ve Doğu-Batı (DB) doğrultularında transectler oluşturulmuş; her doğrultuda 1 m aralıklarla 11'er gözlem kaydedilmiştir. Merkez nokta KG ve DB transectleri için ayrı transect

gözlemi olarak değerlendirilmiş ve her örnek alanda toplam 22 yüzey örtüsü kaydı elde edilmiştir. Böylece 73 örnek alan genelinde toplam 1.606 transect gözlemi değerlendirmeye alınmıştır.

Her transect noktasında yüzey örtüsü, gözlemcinin doğrudan üstten bakışına göre yedi sınıftan biri olarak kaydedilmiştir: mineral zemin (MZ), kül/kor (KK), iğne ölü örtü (İÖ), ince odunsu artık (İO), kalın odunsu artık (KO), canlı örtü (CÖ) ve taş/kaya (TK). Örnek alan bazında her bir yüzey örtü sınıfının oranı, 22 gözlem içerisindeki tekrar sayısının yüzdeye dönüştürülmesiyle hesaplanmıştır. Yüzey örtü kategorilerinin ekolojik anlamı ve beklenen ilişkileri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Yüzey örtü kategorileri, ekolojik anlamları ve beklenen istatistiksel ilişkiler

Kod	Tanım	Ekolojik anlamı	Beklenen ilişki
MZ	Mineral zemin	Tamamen yanmış / açığa çıkmış toprak; üst organik örtü kaybı	Yangın sonrası erozyon riski göstergesi
KK	Kül / kor	Yanma sürecinin doğrudan arazi göstergesi	dNBR / RdNBR ile pozitif korelasyon
İÖ	İğne ölü örtü	Yangından korunmuş veya kısmen yanmış iğne yaprak döküntüsü	Yangın şiddeti ile negatif korelasyon
İO	İnce odunsu artık	Küçük dal, sürgün ve ince biyokütle kalıntıları	Yakıt yükü göstergesi
KO	Kalın odunsu artık	Kalın dal, devrik ve büyük odunsu artıklar	Yakıt yükü ile kısmi yanma göstergesi
CÖ	Canlı örtü	Yangın sonrası canlı bitki örtüsü (kalıntı + rejenerasyon)	NDVI ile pozitif; rejenerasyon göstergesi
TK	Taş / kaya	Yangından etkilenmeyen sabit örtü; yangın öncesi örtü örneklemi	Şiddet ile ilişkisiz; yakıt yükü göstergesi

2.3. Uydu tabanlı yangın şiddeti indisleri

Yangın şiddetinin uzaktan algılama tabanlı tahmini için Sentinel-2 (MSI) verileri kullanılmıştır. Yangın öncesi ve sonrası tarihlere ait Sentinel-2 sahnelerinden Normalized Burn Ratio (NBR = (NIR − SWIR) / (NIR + SWIR)) hesaplanmış; dNBR ve RdNBR aşağıdaki formüllere göre türetilmiştir:

$$dNBR = NBR_{öncesi} - NBR_{sonrası}$$

$$RdNBR = dNBR / \sqrt{|NBR_{öncesi}|}$$

dNBR değerleri Key ve Benson (2006) tarafından önerilen sınıflandırma şemasına uyarlanarak beş sınıfa ayrılmıştır: (1) Yanmamış (< 0,10), (2) Düşük (0,10-0,27), (3) Orta-Düşük (0,27-0,44), (4) Orta-Yüksek (0,44-0,66) ve (5) Yüksek (≥ 0,66). Aynı zamanda yangın sonrası NDVI değeri, erken dönem yeşillenmenin uzaktan algılama göstergesi olarak hesaplanmış ve canlı örtü (CÖ) gözlemleri ile karşılaştırılmıştır.

2.4. Topoğrafik ve yapısal değişkenler

Her örnek alanın koordinatları kullanılarak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üzerinden eğim (°), yükselti (m) ve güneşlenme indeksi (SEI) hesaplanmıştır. SEI, bakı ve eğim bilgisini birleştirerek örnek alanların potansiyel solar radyasyon ve mikroklimatik farklılıklarını temsil eden topoğrafik bir değişken olarak değerlendirilmiştir (Holden ve Jolly, 2011).

Yapısal değişken olarak Hansen Global Forest Change veri setinden örnek alanlara karşılık gelen ağaç örtüsü oranı (treecover, %) elde edilmiştir (Hansen ve diğ., 2013). Ayrıca her örnek

alanda göğüs yüzeyi (GY, m²/ha) ve dip kütük sayısı arazi ölçümleriyle belirlenmiş; bu değişkenler yangın öncesi meşcere yapısı ve yangın sonrası sahada kalan yapısal kalıntılarla ilişkili göstergeler olarak değerlendirilmiştir.

2.5. İstatistiksel analizler

Yüzey örtüsü sınıfları örnek alan düzeyinde yüzde verisi olarak hesaplanmıştır. Verilerin dağılım özellikleri ve örneklem büyüklüğü dikkate alınarak, yüzey örtüsü oranları ile sürekli çevresel değişkenler arasındaki ilişkiler hem Pearson korelasyon katsayısı hem de Spearman sıra korelasyon katsayısı kullanılarak değerlendirilmiştir. Pearson korelasyonu doğrusal ilişkileri, Spearman korelasyonu ise sıralı ve dağılım varsayımına daha az duyarlı ilişkileri değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

Yüzey örtü oranları ile dNBR, RdNBR, yangın sonrası NBR, yangın sonrası NDVI, eğim, yükselti, SEI, treecover, GY ve dip kütük sayısı arasındaki ilişkiler ayrı ayrı analiz edilmiştir. dNBR'ye göre oluşturulan beş yanma şiddeti sınıfı arasında yüzey örtü bileşenlerinin farklılaşıp farklılaşmadığı Kruskal-Wallis H testi ile test edilmiştir. Aynı örnek alan içinde yer alan KG ve DB doğrultulu transectler eşleşmiş gözlem yapısı gösterdiğinden, yönler arası farklar eşleştirilmiş örneklem t-testi ve Wilcoxon işaretli sıralar testi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca tüm yüzey örtü kategorilerinin KG ve DB doğrultularındaki toplam gözlem dağılımı ki-kare testi ile karşılaştırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Genel yüzey örtü kompozisyonu

Yetmiş üç örnek alanın tamamı dikkate alındığında, yanmış sahada ortalama yüzey örtü kompozisyonu mineral zemin (MZ) baskınlığında oluşmuştur. MZ oranı %28,1 ile en yüksek değeri almış, bunu taş/kaya (TK, %23,9), iğne ölü örtü (İÖ, %14,4), ince odunsu artık (İO, %13,0), canlı örtü (CÖ, %10,8), kalın odunsu artık (KO, %5,0) ve kül/kor (KK, %4,8) izlemiştir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Örnek alanlara (n = 73) ait yüzey örtü oranları ve ortam değişkenlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Değişken	Ortalama	Std. sapma	Min - Maks
MZ (%)	28.1	-	0 - 57.1
KK (%)	4,8	-	0 - 31,8
İÖ (%)	14,4	-	0 - 45,5
İO (%)	13,0	-	0 - 63,6
KO (%)	5,0	-	0 - 36,4
CÖ (%)	10,8	-	0 - 45,5
TK (%)	23,9	-	0 - 68,2
Treecover (%)	48,1	22,5	0 - 73
Eğim (°)	16,8	7,5	2,6 - 35,1
Yükseklik (m)	266	93	156 - 578
SEI	7,14	11,15	−32,73 - 30,02
GY (m²/ha)	19,91	21,14	0,00 - 87,57
Dip kütük (adet)	4,7	3,7	0 - 15
dNBR	0,422	0,214	−0,094 - 1,006
RdNBR	0,754	0,324	−0,203 - 1,518
NBR (yangın sonrası)	−0,100	0,077	−0,264 - 0,196
NDVI (yangın sonrası)	0,242	0,071	0,136 - 0,574

Bu dağılım, çalışma alanında yangın sonrası mineral toprağın belirgin biçimde açığa çıktığını, ancak yüzeyin tamamen homojen bir yanma etkisi taşımadığını göstermektedir. Taş/kaya oranının yüksek olması, alanın doğal taşlılık ve yüzey iskeleti bakımından heterojen olduğunu ortaya koymaktadır. İğne ölü örtü ve ince odunsu artık oranlarının belirli düzeylerde korunmuş olması ise yangın sonrası yüzeyde organik materyalin tamamen ortadan kalkmadığını ve saha içinde farklı yanma etkilerinin mozaik biçimde bir arada bulunduğunu düşündürmektedir. Treecover değerlerinin 0-%73 arasında değişmesi de yangın öncesi kapalılık ve meşcere yapısı bakımından farklı koşulların örneklem içinde temsil edildiğine işaret etmektedir

3.2. Yangın şiddeti sınıflarına göre kompozisyon

dNBR sınıflandırmasına göre örnek alanların büyük bölümü orta düzey yanma şiddeti sınıflarında yoğunlaşmıştır. Orta-düşük sınıfta 25, orta-yüksek sınıfta 21 örnek alan yer alırken, düşük şiddet sınıfı 14, yüksek şiddet sınıfı 9 ve yanmamış-benzeri sınıf 3 örnek alanla temsil edilmiştir. Bu dağılım, örneklemenin özellikle orta şiddet sınıflarında yoğunlaştığını, bununla birlikte düşükten yükseğe uzanan geniş bir şiddet gradyanını kapsadığını göstermektedir.

Tablo 3.2. dNBR şiddet sınıflarına göre ortalama yüzey örtü kompozisyonu (%)

dNBR sınıfı	dNBR aralığı	n	MZ	KK	İÖ	İO	KO	CÖ	TK
1 - Yanmamış	< 0,10	3	9,1	1,5	10,6	7,6	3,0	24,2	43,9
2 - Düşük	0,10 - 0,27	14	35,6	1,0	14,7	10,5	4,2	8,1	26,0
3 - Orta-Düşük	0,27 - 0,44	25	25,0	4,7	19,7	16,0	6,7	10,4	17,5
4 - Orta-Yüksek	0,44 - 0,66	21	29,2	7,2	11,1	12,8	2,4	8,5	28,9
5 - Yüksek	≥ 0,66	9	31,5	7,2	6,1	9,2	8,6	16,7	20,7

Kül/kor (KK) oranı, yanmamış benzeri sınıfta %1,5 düzeyindeyken yüksek şiddet sınıfında %7,2'ye ulaşmıştır. Kruskal-Wallis testi, KK oranının dNBR şiddet sınıfları arasında istatistiksel olarak anlamlı biçimde farklılaştığını göstermiştir ($H = 10,18$; $p = 0,038$). Bu sonuç, KK'nın yanma sürecinin doğrudan arazi göstergesi olarak değerlendirilebileceğini ve uydu tabanlı yanma şiddeti indisleriyle tutarlı bir yüzey bileşeni olduğunu ortaya koymaktadır.

İğne ölü örtü (İÖ), orta-düşük şiddet sınıfındaki %19,7'lik değerden yüksek şiddet sınıfında %6,1'e düşerek şiddet artışıyla azalma eğilimi göstermiştir. Bu bulgu, yüksek şiddetli yanmalarda iğne döküntüsünün tüketilmesi veya kül/kor materyaline dönüşmesiyle uyumludur. Buna karşılık mineral zemin (MZ) oranı, yanmamış-benzeri sınıfta %9,1 iken düşük şiddet sınıfında %35,6'ya yükselmiş, daha yüksek şiddet sınıflarında ise %25-31 bandında değişmiştir. Bu örüntü, mineral zeminin yalnızca en yüksek yanma şiddeti koşullarında değil, düşük ve orta düzey yanma etkilerinde de belirgin biçimde açığa çıkabileceğini göstermektedir. Mineral zeminin açığa çıkması, yangın sonrası yüzey akışı ve erozyon riski açısından önemli bir göstergedir (Cerdà ve Doerr, 2008).

3.3. Korelasyon analizleri

Korelasyon analizleri, yüzey örtüsü bileşenlerinin yangın şiddeti, topoğrafya ve erken dönem yeşillenme göstergeleriyle farklı düzeylerde ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. KK oranı, yanma yoğunluğunu temsil eden en belirgin arazi bileşenlerinden biri olarak öne çıkmıştır. KK ile dNBR arasında Spearman $\rho = 0,36$ ($p = 0,002$), KK ile RdNBR arasında ise $\rho = 0,31$ ($p = 0,008$) düzeyinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Bu bulgu, kül/kor birikiminin uydu tabanlı şiddet indisleriyle tutarlı bir arazi göstergesi olduğunu desteklemektedir.

İğne ölü örtü (İÖ) ile RdNBR arasında Pearson $r = -0,315$ ($p = 0,007$) düzeyinde negatif bir ilişki saptanmıştır. Bu ilişki, yanma şiddetinin arttığı alanlarda iğne döküntüsünün azalması ve organik örtü korunma düzeyinin düşmesiyle açıklanabilir. Yangın şiddeti arttıkça yüzey organik materyalinin tüketilmesi ya da kül materyaline dönüşmesi beklenen bir süreçtir (Keeley, 2009).

Canlı örtü (CÖ) ile yangın sonrası NDVI arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif ilişkiler belirlenmiştir. Bu ilişki Pearson korelasyonuna göre orta düzeyde, Spearman korelasyonuna göre ise zayıf-orta düzeydedir. CÖ aynı zamanda yükselti ile de pozitif ilişkili bulunmuştur. Bu sonuç, daha yüksek kesimlerdeki görece serin ve nemli mikroçevre koşullarının erken dönem canlı örtü gelişimini destekleyebileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, bu yorum doğrudan mikroklima ölçümlerine değil, yükseltiyle ilişkili çevresel koşulların olası etkisine dayanmaktadır.

Tablo 3.3. Yüzey örtü oranları ile seçilmiş ortam değişkenleri arasındaki Pearson r ve Spearman ρ korelasyon katsayıları (n = 73)

Yüzey örtü	Değişken	Pearson r	*p*	Spearman ρ	*p*	Anlamlılık
MZ	NDVI	−0,275	0,019	−0,300	0,010	*
MZ	Yükseklik	−0,213	0,070	−0,252	0,032	*
MZ	Dip kütük	0,347	0,003	0,369	0,001	**
KK	dNBR	0,270	0,022	0,361	0,002	**
KK	RdNBR	0,263	0,025	0,310	0,008	**
KK	NBR	−0,204	0,085	−0,281	0,017	*
İÖ	RdNBR	−0,315	0,007	−0,288	0,014	**
KO	Yükseklik	0,234	0,047	0,153	0,196	*
KO	GY	0,144	0,225	0,261	0,026	*
CÖ	NDVI	0,464	<0,001	0,326	0,005	***
CÖ	Yükseklik	0,342	0,003	0,315	0,007	**
TK	Dip kütük	−0,371	0,001	−0,397	<0,001	***

CÖ ile dNBR arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır (ρ = 0,09; *p* = 0,45). Buna karşılık CÖ'nün yangın sonrası NDVI ile anlamlı pozitif ilişki göstermesi, canlı örtünün doğrudan yanma şiddetinden ziyade yangın sonrası erken dönem toparlanma ve yeşillenme sürecini yansıttığını düşündürmektedir. Bu nedenle CÖ, yangın şiddetinin doğrudan göstergesi olarak değil, yangın sonrası canlı bitki örtüsünün yeniden gelişimini temsil eden tamamlayıcı bir gösterge olarak değerlendirilmelidir.

TK oranı ile dip kütük sayısı arasında negatif ve anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. Bu bulgu, daha taşlı/kayalık yüzeylere sahip alanlarda ağaç kalıntılarının ve dip kütük yoğunluğunun daha düşük olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, TK, yakıt yükü göstergesi olarak değil, yanıcı olmayan sabit yüzey ve taşlılık koşullarını temsil eden bir yüzey bileşeni olarak yorumlanmalıdır.

3.4. Transect yönüne göre yüzey örtüsü farklılıkları

Aynı örnek alan içindeki KG ve DB transectleri karşılaştırıldığında, yüzey örtü kategorilerinin toplam gözlem dağılımı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği belirlenmiştir (χ^2 = 15,27; df = 6; *p* = 0,018). Bu sonuç, 10 m × 10 m ölçeğinde dahi yüzey örtüsü kompozisyonunun transect yönüne bağlı olarak farklılaşabileceğini göstermektedir.

Tablo 3.4. KG ve DB transectleri arasındaki yüzey örtü farkları ve istatistiksel anlamlılı

Yüzey örtü	KG (%)	DB (%)	Fark (KG-DB)	t-test p	Wilcoxon p	Anlamlılık
MZ	26,35	29,78	−3,42	0,081	0,070	ns
KK	4,76	4,87	−0,11	0,911	0,808	ns
İÖ	16,22	12,63	+3,59	0,042	0,043	*
İO	12,62	13,37	−0,76	0,680	0,898	ns
KO	4,23	5,73	−1,49	0,203	0,205	ns
CÖ	12,99	8,59	+4,40	0,006	0,002	**
TK	22,83	25,03	−2,20	0,261	0,346	ns

Eşleştirilmiş karşılaştırmalara göre CÖ oranı KG doğrultusunda ortalama %12,99 iken, DB doğrultusunda %8,59 olarak belirlenmiştir. Aradaki +4,4 puanlık fark istatistiksel olarak anlamlıdır (Wilcoxon p = 0,002). Benzer biçimde, İÖ oranı KG doğrultusunda DB doğrultusunda daha yüksek bulunmuştur (Wilcoxon p = 0,043). MZ oranı ise DB doğrultusunda daha yüksek olma eğilimi göstermiştir; ancak bu fark konvansiyonel anlamlılık düzeyine ulaşmamıştır (Wilcoxon p = 0,070).

Bu sonuçlar, küçük örnek alan ölçeğinde yönelime bağlı mikroçevresel farklılıkların yüzey örtüsü kompozisyonunu etkileyebileceğini düşündürmektedir. KG doğrultusunda CÖ ve İÖ oranlarının daha yüksek olması, gölgelenme, nem korunumu veya mikrohabitat farklılıklarıyla ilişkili olabilir. Ancak çalışmada doğrudan toprak nemi, yüzey sıcaklığı veya ışınım ölçümü yapılmadığından, bu yorum olası mekanizma düzeyinde değerlendirilmelidir. Yine de bulgular, yangın sonrası arazi envanterlerinde transect yönünün kayıt altına alınmasının küçük ölçekli heterojenliği yakalamak bakımından önemli olabileceğini göstermektedir.

3.5. Yangın öncesi kapalılık sınıfının etkisi

Yangın öncesi meşcere kapalılığı ve yapısal koşullar, yangın sonrası yüzey örtüsü kompozisyonunu etkileyebilecek önemli faktörlerdir. Çalışmada treecover, göğüs yüzeyi ve dip kütük sayısı gibi değişkenler, yüzey örtüsü bileşenleriyle birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yangın sonrası yüzey kompozisyonunun yalnızca yanma şiddetine değil, yangın öncesi meşcere yapısı ve alanın edafik/topografik özelliklerine de bağlı olabileceğini göstermektedir.

Kapalılığı düşük ya da bozuk karakterli alanlarda KK oranının daha yüksek, İÖ oranının ise daha düşük olması; açık alanlarda yanıcı ince materyalin farklı biçimde tüketilmesi, rüzgâr etkisiyle yüzey materyalinin taşınması veya yangın davranışının daha heterojen gelişmesiyle ilişkili olabilir. Buna karşılık daha kapalı veya yapısal olarak gelişmiş alanlarda iğne ölü örtü ve canlı örtü oranlarının görece artması, yangın sonrası organik örtü korunumu ve erken dönem toparlanma açısından meşcere yapısının rol oynayabileceğini düşündürmektedir. Bu bulgular, yangın sonrası yüzey örtüsü analizlerinde yalnızca spektral yangın şiddeti indislerinin değil, yangın öncesi yapısal koşulların da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

4. Sonuç

Bu çalışma, Köyceğiz-Akköprü orman yangını sonrasında transect tabanlı yüzey örtüsü envanterinin, uydu tabanlı yangın şiddeti indisleriyle birlikte kullanılabilecek pratik bir arazi

doğrulama yaklaşımı sunduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, yangın sonrası yüzeyin tek boyutlu bir yanma şiddeti göstergesiyle açıklanamayacak kadar heterojen olduğunu ortaya koymuştur. Kül/kor oranının dNBR ve RdNBR ile anlamlı pozitif ilişkiler göstermesi, bu bileşenin uydu tabanlı yanma şiddeti göstergeleriyle uyumlu bir arazi değişkeni olduğunu ortaya koymaktadır. İğne ölü örtünün RdNBR ile negatif ilişkili olması, organik örtünün şiddet artışıyla birlikte azaldığını göstermektedir. Buna karşılık canlı örtünün dNBR ile anlamlı ilişki göstermemesi, bu değişkenin doğrudan yanma şiddetinden çok yangın sonrası erken dönem toparlanmayı temsil ettiğini düşündürmektedir. KG ve DB doğrultulu transectler arasında belirlenen farklılıklar, küçük ölçekli mekânsal heterojenliğin yangın sonrası yüzey örtüsü değerlendirmelerinde ihmal edilmemesi gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle, transect yönünün kayıt altına alınması ve örnek alan içi farklılıkların değerlendirilmesi, yangın sonrası arazi envanterlerinin açıklayıcılığını artırabilir.

Sonuç olarak, bu protokol, farklı yangın sahalarında test edilerek geliştirilmesi hâlinde, uydu tabanlı yangın şiddeti analizlerini destekleyen uygulanabilir bir arazi doğrulama yöntemi olarak değerlendirilebilir.

Teşekkür

Köyceğiz-Akköprü yangın sahasında arazi çalışmalarına izin sağlayan Köyceğiz Orman İşletme Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz. Çalışma, herhangi bir kurum veya proje finansmanı kapsamında yürütülmemiştir.

Kaynaklar

Cerdà, A., Doerr, S. H. (2008). The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period. *Catena, 74*(3), 256–263. https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.03.010

Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science, 342*(6160), 850–853. https://doi.org/10.1126/science.1244693

Holden, Z. A., Jolly, W. M. (2011). Modeling topographic influences on fuel moisture and fire danger in complex terrain to improve wildland fire management decision support. *Forest Ecology and Management, 262*(12), 2133–2141. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.08.002

Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire, 18*(1), 116–126. https://doi.org/10.1071/WF07049

Key, C. H., Benson, N. C. (2006). Landscape Assessment (LA): Sampling and Analysis Methods. In: Lutes, D. C., Keane, R. E., Caratti, J. F., Key, C. H., Benson, N. C., Sutherland, S., Gangi, L. J. (Eds.), *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. General Technical Report RMRS-GTR-164-CD, LA-1--LA-55.

Lentile, L. B., Holden, Z. A., Smith, A. M. S., Falkowski, M. J., Hudak, A. T., Morgan, P., Lewis, S. A., Gessler, P. E., Benson, N. C. (2006). Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire, 15*(3), 319–345. https://doi.org/10.1071/WF05097

Miller, J. D., Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment, 109*(1), 66–80. https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006

Pausas, J. G., Keeley, J. E. (2009). A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience, 59*(7), 593–601. https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10

Pyke, D. A., Herrick, J. E., Shaver, P., Pellant, M. (2002). Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal of Range Management, 55*(6), 584–597. https://doi.org/10.2307/4004002

Tavşanoğlu, Ç., Pausas, J. G. (2018). A functional trait database for Mediterranean Basin plants. *Scientific Data, 5*, 180135. https://doi.org/10.1038/sdata.2018.135

SAF VE KARIŞIK DOĞAL KARAÇAM (*PİNUS NİGRA* SUBSP. *PALLASİANA*) MEŞCERELERİNDE BİYOKÜTLE VE KARBON DAĞILIMI

Ergün KAHVECİ[1], Salih MALKOÇOĞLU[2]

[1]Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Niksar Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Tokat, Türkiye, Orcid: 0000-0003-2178-4302
[2]Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Köyceğiz Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, Muğla, türkiye, Orcid: 0000-0002-9599-628X

Özet

Orman ekosistemlerinde karbon depolama kapasitesi meşcerenin tür kompozisyonu ve karışım yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, doğal meşcerelerde saf ve karışık ağaç türü kombinasyonlarının toprak üstü biyokütle ve karbonun bileşenlere göre yüzdesel dağılımı üzerindeki etkisi incelenerek tür çeşitliliği ile karbon depolama ilişkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Araştırma alanı, Samsun Orman İşletme Müdürlüğü Atakum ve Boğaziçi Orman İşletme Şeflikleri sınırlarında (450-850 m rakım) yer almaktadır. Benzer yetişme ortamı özelliklerine sahip sahalardan orta ağaç yöntemine göre 12 deneme alanı seçilmiş; kesilen örnek ağaçlardan gövde odunu, kabuk, dal ve yaprak; ayrıca örnek alanlardan ölü örtü, ölü odun ve diri örtü numuneleri toplanmıştır. Laboratuvarda kurutulan örneklerin organik karbon yüzdeleri Walkley-Black ıslak yakma yöntemine göre belirlenmiştir.

Araştırma bulgularına göre, biyokütlenin en büyük kısmı tüm meşcere tiplerinde gövde odununda depolanmıştır. Bu oran saf karaçam (Çk) meşcerelerinde %48,10, karaçam-sarıçam (ÇkÇs) meşcerelerinde %48,33 ve karaçam-meşe (ÇkM) meşcerelerinde %52,80 olarak saptanmıştır. Dal biyokütlesi karışık meşcerelerde daha yüksek oranlara ulaşmıştır (ÇkÇs'de %17,12, ÇKM'de %17,64). ÇKM meşceresinde ölü örtü, ölü odun ve diri örtü biyokütle oranları sırasıyla %11,30, %4,10 ve %0,38'dir. Karbon dağılımı da benzer eğilim göstererek en yüksek oranda gövde odununda belirlenmiş; Çk'da %47,09, ÇkÇs'de %51,27 ve ÇkM'de %52,20 değerleri elde edilmiştir. Dal karbonu özellikle karışık meşcerelerde artış sergilemiştir. Sonuç olarak, meşcere tipi ve tür karışımı toprak üstü biyokütle ve karbonun ekosistem bileşenlerine dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir. Karışık meşcerelerde karbonun bileşenler arasındaki dağılımında farklılaşma gözlenirken, saf meşcerelerde belirli bileşenlerde yoğunlaşma eğilimi saptanmıştır. Bu durum, karbon yönetimi ve sürdürülebilir orman planlaması açısından meşcere çeşitliliğinin önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Biyokütle, karbon dağılımı, meşcere kompozisyonu, organik karbon

1. Giriş

Küresel iklim değişikliği, endüstri devriminden bu yana atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunun hızla artmasıyla dünya gündeminin en hayati çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının artması, özellikle karbondioksit (CO_2) miktarındaki yükseliş, küresel sıcaklık artışlarına ve ekosistem süreçlerinde önemli değişimlere neden olmaktadır. Bu nedenle atmosferik karbonun fotosentez yoluyla bünyelerine alınarak biyokütleye dönüştürülmeleri ve uzun yıllar boyunca saklanmaları nedeniyle orman ekosistemleri küresel karbon döngüsünde devasa bir yutak alanı olarak rol oynamaktadır (Lal, 2005). Ormanlarda karbon; canlı biyokütle, ölü örtü, ölü odun ve toprak

organik maddesi içerisinde depolanmaktadır. Özellikle gövde, dal, kabuk ve yaprak gibi toprak üstü biyokütle bileşenleri önemli karbon depolama alanları oluşturmaktadır (Brown, 1997; Bauhus vd., 2017). Karbonun orman ekosistemlerindeki bu dinamikleri; ağaç türü, meşcere yapısı, yaş sınıfı, gelişim çağı, bonitet ve iklimsel faktörler gibi pek çok değişkenin etkisi altındadır (IPCC, 2006). Bu nedenle orman ekosistemlerinde biyokütle ve karbon dağılımının belirlenmesi, sürdürülebilir ormancılık uygulamaları ve karbon bütçelerinin hesaplanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Türkiye'de doğal yayılış gösteren asli ibreli türlerden biri olan karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*), geniş ekolojik toleransı ve farklı yetişme ortamlarına uyum sağlayabilmesi nedeniyle ülkenin birçok bölgesinde yayılış göstermektedir (Atalay, 1992; Boydak ve Çalışkan, 2014). Karaçam, Türkiye ormanlarında kızılçamdan sonra en geniş doğal yayılışa sahip ikinci ibreli ağaç türüdür. Yüksek adaptasyon kabiliyeti, kuraklığa dayanıklılığı ve geniş ekolojik toleransı sayesinde sürdürülebilir ormancılık faaliyetlerinde, erozyon kontrolü çalışmalarında ve ağaçlandırmalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Boydak ve Çalışkan, 2014). Gösterdiği geniş ekolojik tolerans ve odun yoğunluğu nedeniyle karaçam meşcereleri, Türkiye ormanlarının toplam karbon depolama kapasitesinde oldukça büyük bir paya sahiptir (Asan, 1995).

Geleneksel ormancılık yönetimi tarihsel olarak hasadı, planlaması ve endüstriyel standardizasyonu daha kolay olan saf meşcerelere odaklanmış olsa da, son yıllarda ivme kazanan ekolojik araştırmalar orman planlamasında yeni bir karışık meşcere paradigması yaratmıştır (Tolunay, 2011). Yapılan araştırmalar, farklı türlerin bir arada bulunduğu karışık meşcerelerin biyolojik çeşitlilik, ekolojik dayanıklılık ve karbon depolama bakımından önemli avantajlar sağlayabileceğini göstermektedir (Bauhus vd., 2017). Türler arası tamamlayıcılık ilişkileri; ışık kullanımı, taç gelişimi, organik madde üretimi ve ayrışma süreçlerini etkileyerek biyokütle ve karbonun ekosistem içerisindeki dağılımını değiştirebilmektedir. Teori ve saha araştırmaları, karışık meşcerelerin saf meşcerelere kıyasla ekolojik kaynakların daha etkin kullanımı, toprak altı ve toprak üstü besin elementleri ile ışıktan maksimum düzeyde yararlanma ve türler arası pozitif etkileşim mekanizmaları sayesinde birim alanda çok daha fazla biyokütle üretebildiğini, dolayısıyla atmosferden daha fazla karbon çekebildiğini güçlü bir şekilde öne sürmektedir (Pretzsch ve Biber, 2016). Tür çeşitliliği, ormanları iklim stresi altında birer karbon kaynağından ziyade dirençli karbon yutakları haline geçirmektedir (Bauhus vd., 2017). Özellikle ibreli ve geniş yapraklı türlerin bir arada bulunduğu ormanlar, tek türden oluşan ormanlara kıyasla hem toprak üstü hem de toprak altı karbon birikimi ile toprak karbon stabilitesinde çok daha üstün performans sergilemektedir (Shu vd. 2026). Işık isteği yüksek olan karaçam ile farklı taç mimarisine ve gölge toleransına sahip sarıçam veya derin kök sistemine sahip meşe gibi türlerin oluşturduğu dikey katmanlaşma, birim alandaki yaprak alanı endeksini ve fotosentetik aktiviteyi optimize etmektedir (Loreau, 2000).

Ancak mevcut literatürün büyük bir bölümü yalnızca toplam karbon stoklarına veya sadece gövde hacmine odaklanmakta; tür karışımının, karbonun farklı toprak üstü bitkisel bileşenler arasındaki yüzdesel ve nicel dağılımı üzerindeki etkilerini bütüncül olarak ortaya koymakta yetersiz kalmaktadır. Türkiye'de doğal karaçam meşcerelerinde tür karışımının biyokütle ve karbon dağılımı üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu çalışmada, Samsun-Atakum yöresinde bulunan saf karaçam (Çk) ile karaçam-sarıçam (ÇkÇs) ve karaçam-meşe (ÇkM) karışık doğal meşcerelerinde toprak üstü biyokütle ve karbon dağılımının karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma alanı

Araştırma, Karadeniz Bölgesi'nde, Samsun ili Atakum yöresinde, Samsun Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Atakum ve Boğaziçi Orman İşletme Şeflikleri sınırları içerisinde doğal karaçam meşcerelerinde gerçekleştirilmiştir. Deneme alanları, 450 ile 850 metre rakım aralığında yer almaktadır. Çalışma alanı saf karaçam (Çkbc2), karaçam-sarıçam karışık (ÇkÇsbc2) ve karaçam-meşe karışık (ÇkMbc2) meşcerelerinden oluşmaktadır. Çevresel değişkenlerin ve yetişme ortamı heterojenliğinin analizler üzerindeki etkisini minimize etmek amacıyla, deneme alanlarının tamamı; benzer ana materyal (kireçtaşı), güney bakı, %17-36 eğim grubu, 2 kapalılık sınıfı (%41-70) ve IV. bonitet sınıfına sahip sahalardan homojen bir şekilde seçilmiştir. Meşcerelerin tamamı 'bc' (b: 8-19,9 cm, c: 20-35,9 cm) gelişim çağındadır.

2.2. Örnekleme çalışmaları

Araştırma kapsamında rastgele örnekleme yöntemi kullanılarak toplam 12 deneme alanı belirlenmiştir. Her meşcere tipinden dört adet daire biçiminde deneme alanı alınmıştır. Seçilen deneme alanlarında tüm ağaçların göğüs çapları ve boyları ölçülmüş ve meşcereyi temsil edecek örnek ağaçlar belirlenmiştir. Örnek ağaçlardan gövde kesitleri, kabuk örnekleri, dal örnekleri ile yaprak/ibre örnekleri alınmıştır. Ayrıca her deneme alanından diri örtü, ölü örtü ve ölü odun örnekleri toplanmıştır. Diri örtü ve ölü odun örnekleri 1×1 m'lik quadratlardan alınırken, ölü örtü örnekleri 25×25 cm boyutundaki örnekleme alanlarından elde edilmiştir. Ölü odun örneklemelerinde çapı 2.5 cm'den büyük materyaller dikkate alınmıştır. Meşcere özelliklerini ve örnekleme yoğunluğunu gösteren detaylar Tablo 2.1'de sunulmuştur.

Tablo 2.1. Deneme alanlarının meşcere özellikleri ve örnekleme yoğunluğu

Ağaç Türü ve Karışımı	Çağ Sınıfı	Bakı	Eğim	Kapalılık	Örnek Alan	Kesilen Ağaç	Ölü Örtü	Ölü Odun	Diri Örtü
P. nigra (Çk)	bc	G	%17-36	2 (41-70%)	4	4	16	4	4
P. nigra- P. sylvestris (ÇkÇs)	bc	G	%17-36	2 (41-70%)	4	4	16	4	4
P. nigra- Q. cerris (ÇkM)	bc	G	%17-36	2 (41-70%)	4	4	16	4	4
Toplam	-	-	-	-	**12**	**12**	**48**	**12**	**12**

2.3. Biyokütle bileşenlerinin belirlenmesi ve laboratuvar analizleri

Her deneme alanından meşcere taban alanını temsil edecek şekilde orta ağaç yöntemine göre seçilen toplam 12 adet örnek ağaç (her meşcere tipinden 4 adet) kesilmiştir. Ağaç numunelerinde örnek ağacın belirlenmesi, boyutlandırılması, seksüyonlara ayrılması, disk kesitlerinin alınarak numaralandırılması, dal örneklerinin çap ve boylarının saptanması, dal ve yaprak yaş ağırlıklarının belirlenmesi aşamaları takip edilmiştir. Ayrıca her deneme alanından ölü örtü, diri örtü ve ölü odun örnekleri derlenmiştir. Arazi çalışmalarının ardından laboratuvara taşınan tüm bitkisel numuneler, 65±3 °C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuş ve fırın kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Kurutulan ve öğütülerek homojen hale getirilen örneklerin organik karbon yüzdeleri Walkley-Black ıslak yakma yöntemine göre saptanmıştır (Walkley ve Black, 1934). Bileşen bazında elde edilen bu karbon yüzdeleri, ilgili bileşenlerin fırın kurusu biyokütle miktarlarıyla çarpılarak ekosistem bileşenlerinde depolanan net karbon miktarları hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Mutlak biyokütle ve karbon stokları (t/ha)

Tablo 3.1 incelendiğinde, tüm meşcere tiplerinde biyokütlenin en büyük kısmının gövde odununda yoğunlaştığı görülmektedir. Özellikle ÇkM meşcerelerinde gövde, dal ve yaprak biyokütlesinin diğer meşcere tiplerine göre daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Buna karşılık saf karaçam meşcerelerinde ölü örtü ve ölü odun miktarlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Araştırma sonuçları, tüm meşcere tiplerinde biyokütlenin en büyük kısmının gövde odununda depolandığını ortaya koymuştur. Gövde odunu biyokütlesi ÇkM meşcerelerinde 52,55 t/ha ile en yüksek değere ulaşırken, bunu saf karaçam meşcereleri (34,55 t/ha) ve ÇkÇs meşcereleri (30,07 t/ha) izlemiştir. Gövde odununun toplam biyokütle içerisindeki baskın konumu, orman ekosistemlerinde uzun dönemli karbon depolamasının temel olarak odunsu dokularda gerçekleştiğini gösteren klasik ormancılık literatürüyle uyumludur (Asan, 1995; Brown, 1997). Özellikle karaçam-meşe karışık meşcerelerinde daha yüksek gövde biyokütlesinin belirlenmesi, farklı türlerin ekolojik nişleri paylaşması sonucu ortaya çıkan tamamlayıcılık etkisiyle açıklanabilir. Karışık meşcerelerde ışığın daha etkin kullanılması, farklı kök derinliklerinin su ve besin maddesi kullanımını optimize etmesi ve taç katmanlaşmasının fotosentetik verimliliği artırması biyokütle üretimini desteklemektedir (Pretzsch ve Biber, 2016; Pretzsch ve Forrester, 2017).

Kabuk biyokütlesi bakımından da benzer bir eğilim gözlenmiş; en yüksek değer ÇkM meşcerelerinde 7,29 t/ha olarak belirlenmiştir. Kabuk biyokütlesinin özellikle yaşlı ve hızlı büyüyen bireylerde artış gösterdiği bilinmektedir. Durkaya vd. (2010), Anadolu karaçamı için geliştirdikleri biyokütle modellerinde kabuk biyokütlesinin toplam ağaç biyokütlesi içerisinde önemli bir paya sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar söz konusu araştırmayla paralellik göstermektedir.

Dal biyokütlesi karışık meşcerelerde saf meşcerelere göre daha yüksek bulunmuştur. ÇkM meşcerelerinde dal biyokütlesi 18,36 t/ha değerine ulaşırken, ÇkÇs ve saf karaçam meşcerelerinde sırasıyla 10.62 ve 10,56 t/ha olarak belirlenmiştir. Bu durum, karışık meşcerelerde türler arası ışık rekabetinin taç gelişimini teşvik etmesiyle ilişkilendirilebilir. Özellikle meşe gibi geniş yapraklı türlerin karışıma katılması, yatay ve dikey taç mimarisinin çeşitlenmesine neden olmakta ve yanal dallanmayı artırmaktadır. Benzer şekilde Loreau (2000), tür çeşitliliğinin kaynak kullanım etkinliğini artırarak ekosistem üretkenliğini yükselttiğini ifade etmişlerdir.

Yaprak/ibre biyokütlesi açısından da ÇkM meşcereleri (6,49 t/ha) diğer meşcere tiplerinden daha yüksek değer göstermiştir. Bu durum, karışık meşcerelerde yaprak alan indeksinin artmasına bağlı olarak fotosentetik yüzeyin genişlemesiyle açıklanabilir. Özellikle ibreli-yapraklı karışımların daha fazla ışık yakalama kapasitesine sahip olduğu ve bunun net birincil üretimi artırdığı bildirilmektedir (Pretzsch ve Forrester, 2017).

Ölü örtü biyokütlesi ise saf karaçam meşcerelerinde 12,75 t/ha ile en yüksek değeri göstermiştir. Saf ibreli meşcerelerde ibrelerin yüksek lignin ve reçine içeriğine sahip olması ayrışma hızını düşürmekte ve organik madde birikimine neden olmaktadır (Lal, 2005). Karışık meşcerelerde ise geniş yapraklı türlerin litter kalitesini artırması mikrobiyal faaliyetleri hızlandırmakta ve ayrışmayı teşvik etmektedir. Bu nedenle ÇkM meşcerelerinde ölü örtü miktarı 10,30 t/ha düzeyinde kalmıştır.

Ölü odun biyokütlesi saf karaçam meşcerelerinde 4,66 t/ha ile daha yüksek bulunmuştur. Saf meşcerelerde rekabet baskısının daha yoğun olması, doğal dal ve birey ölümlerini artırarak ölü odun birikimini destekleyebilmektedir. Buna karşılık karışık meşcerelerde tür çeşitliliği

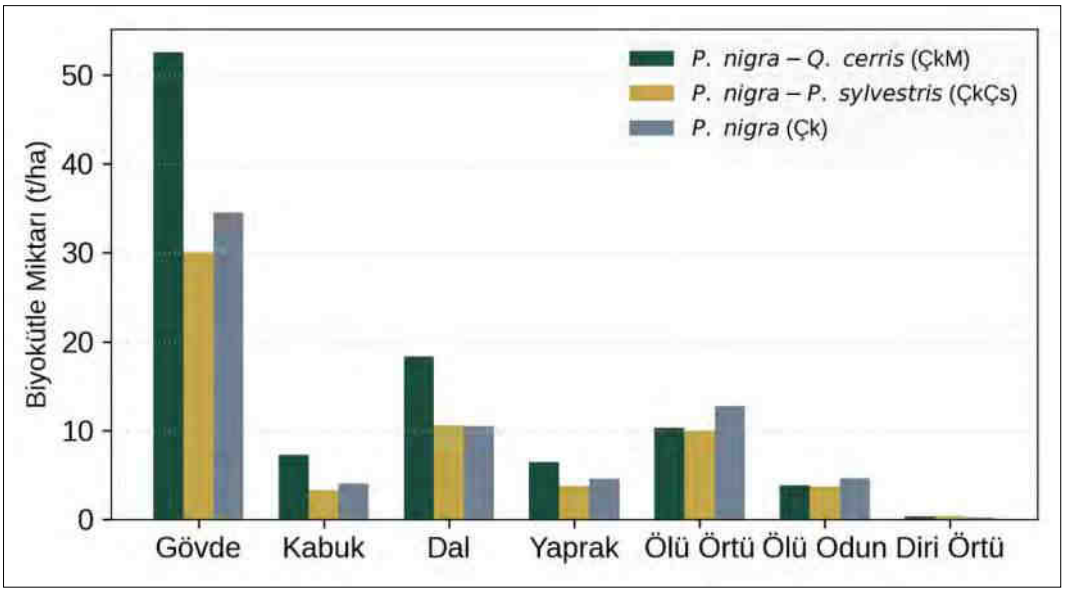
rekabet baskısını dengeleyerek daha stabil bir meşcere yapısı oluşturabilmektedir (Bauhus vd., 2017).

Diri örtü biyokütlesi tüm meşcere tiplerinde oldukça düşük düzeylerde gerçekleşmiştir. Bununla birlikte ÇkÇs meşcerelerinde 0,45 t/ha ile nispeten daha yüksek değer belirlenmiştir. Karışık meşcerelerde ışık geçirgenliğinin artması orman altı vejetasyonunun gelişimini teşvik edebilmektedir.

Tablo 3.1. Toprak üstü biyokütlesinin istatistiksel parametreleri (t/ha)

Bileşenler	***P. nigra* - *Q. cerris*** **Ortalama ± SS (Min-Max)**	***P. nigra* - *P. sylvestris*** **Ortalama ± SS (Min-Max)**	***P. nigra*** **Ortalama ± SS (Min-Max)**
Gövde Odunu	52,55 ± 22,50 (31,09-83,34)	30,07 ± 8,39 (21,97-39,77)	34,55 ± 8,92 (25,88-47,05)
Kabuk	7,29 ± 1,78 (4,67-8,68)	3,35 ± 1,00 (2,17-4,61)	4,04 ± 1,00 (3,09-5,12)
Dal	18,36 ± 13,55 (5,24-34,28)	10,62 ± 2,49 (9,02-14,33)	10,56 ± 4,86 (4,49-14,77)
Yaprak/İbre	6,49 ± 3,90 (2,26-11,58)	3,80 ± 0,88 (2,59-4,52)	4,57 ± 1,84 (2,99-6,87)
Ölü Örtü	10,30 ± 2,12 (7,37-12,34)	10,03 ± 5,94 (5,40-17,91)	12,75 ± 1,17 (11,79-14,42)
Ölü Odun	3,86 ± 1,15 (2,69-5,22)	3,71 ± 0,20 (3,53-3,94)	4,66 ± 0,80 (3,87-5,60)
Diri Örtü	0,33 ± 0,11 (0,21-0,43)	0,45 ± 0,22 (0,15-0,68)	0,24 ± 0,11 (0,16-0,39)

Şekil 3.1 incelendiğinde, tüm meşcere tiplerinde biyokütlenin en büyük kısmının gövde odununda yoğunlaştığı açıkça görülmektedir. Bunun yanında karışık meşcerelerde dal ve yaprak biyokütlesinin oransal ve mutlak miktar bakımından arttığı dikkat çekmektedir. Özellikle ÇkM meşcerelerinde dal biyokütlesindeki belirgin artış, tür çeşitliliğine bağlı olarak gelişen heterojen taç yapısının ve ışık kullanım etkinliğinin bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Buna karşılık saf karaçam meşcerelerinde ölü örtü ve ölü odun miktarlarının daha yüksek olması, ayrışmanın daha yavaş gerçekleştiğini ve organik madde birikiminin arttığını göstermektedir.



Şekil 3.1. Meşcere tiplerine göre toprak üstü biyokütle bileşenlerinin kantitatif dağılımları (t/ha).

Tablo 3.2 incelendiğinde, karbonun en büyük kısmının gövde odununda depolandığı görülmektedir. Özellikle ÇkM meşcerelerinde gövde ve dal karbonunun daha yüksek olması, karışık meşcerelerde biyokütle üretiminin ve karbon depolama kapasitesinin arttığını göstermektedir.

Karbon stokları biyokütle dağılımına paralel bir eğilim göstermiştir. Tüm meşcere tiplerinde karbonun en büyük kısmı gövde odununda depolanmıştır. Gövde odunu karbonu ÇkM meşcerelerinde 21,77 t/ha ile en yüksek düzeye ulaşırken, ÇkÇs meşcerelerinde 15,56 t/ha ve saf karaçam meşcerelerinde 14,81 t/ha olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, karışık meşcerelerin atmosferik karbonun biyokütleye dönüştürülmesi bakımından daha etkin sistemler olabileceğini göstermektedir. Pretzsch ve Forrester (2017), karışık meşcerelerde tamamlayıcılık etkisinin toplam karbon depolama kapasitesini artırdığını vurgulamıştır.

Dal karbonu bakımından en dikkat çekici değerler ÇkM meşcerelerinde elde edilmiştir (9,27 t/ha). Dal karbonundaki bu artış, karışık meşcerelerde taç gelişiminin daha güçlü olmasıyla ilişkilidir. Tür çeşitliliğinin yapısal heterojenliği artırarak daha geniş bir fotosentetik alan oluşturduğu bilinmektedir (Loreau, 2000).

Yaprak karbonu da benzer şekilde ÇkM meşcerelerinde daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, karışık meşcerelerdeki yüksek yaprak alan indeksi ve fotosentetik aktivitenin karbon birikimini artırdığını göstermektedir. Shu ve diğerleri (2026), ibreli ve geniş yapraklı türlerin birlikte bulunduğu ormanlarda hem biyokütle üretiminin hem de karbon stabilitesinin arttığını bildirmiştir.

Ölü örtü karbonu saf karaçam meşcerelerinde 5,11 t/ha ile en yüksek değeri göstermiştir. Saf ibreli meşcerelerde ayrışmanın yavaş gerçekleşmesi nedeniyle karbonun uzun süre ölü örtü katmanında tutulduğu bilinmektedir (Lal, 2005). Buna karşın karışık meşcerelerde litter kalitesinin yükselmesi ayrışmayı hızlandırmakta ve karbonun mineral toprağa daha hızlı taşınmasına neden olmaktadır.

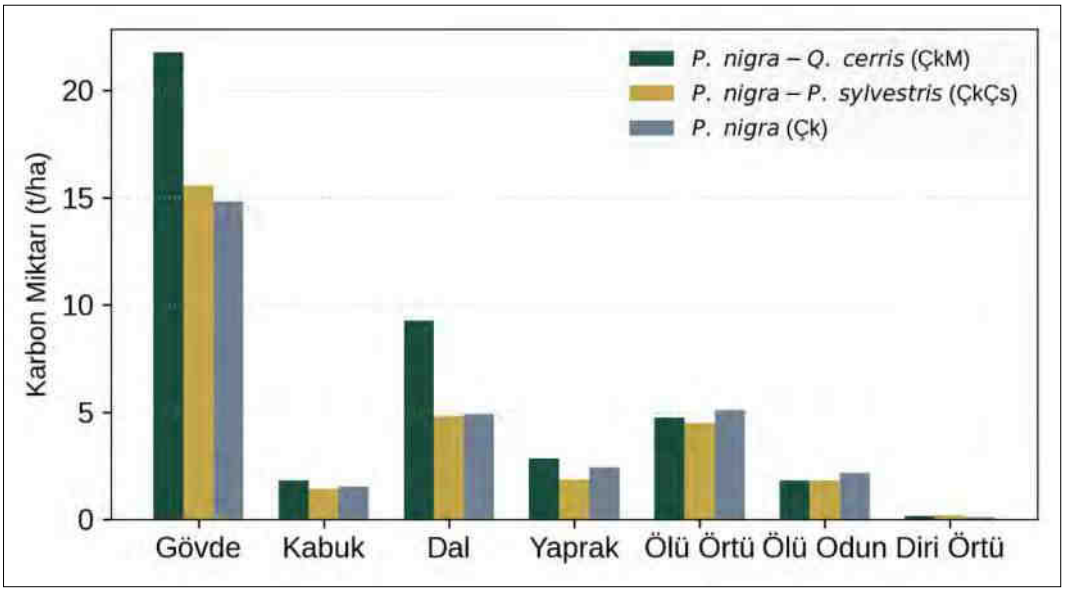
Ölü odun karbonu da saf karaçam meşcerelerinde daha yüksek bulunmuştur (2,17 t/ha). Ölü odun havuzu, yalnızca karbon depolama açısından değil, aynı zamanda biyolojik çeşitlilik ve habitat sürekliliği bakımından da kritik öneme sahiptir. Bu nedenle sürdürülebilir ormancılık uygulamalarında belirli miktarda ölü odunun sahada bırakılması önerilmektedir (IPCC, 2006).

Tablo 3.2. Karbonun istatistiksel parametreleri (t/ha)

Bileşenler	***P. nigra* - *Q. cerris* Ortalama ± SS (Min-**	***P. nigra* - *P. sylvestris* Ortalama ± SS (Min-**	***P. nigra* Ortalama ± SS (Min-**
Gövde Odunu Karbonu	21,77 ± 8,77 (13,35-	15,56 ± 4,28 (11,30-	14,81 ± 4,39 (10,25-
Kabuk Karbonu	1,82 ± 0,41 (1,29-2,25)	1,44 ± 0,45 (0,93-2,02)	1,54 ± 0,32 (1,24-1,86)
Dal Karbonu	9,27 ± 8,38 (2,31-20,45)	4,82 ± 1,22 (4,13-6,64)	4,92 ± 2,13 (1,81-6,33)
Yaprak Karbonu	2,85 ± 1,67 (1,01-5,00)	1,86 ± 0,61 (1,27-2,62)	2,44 ± 1,12 (1,41-3,87)
Ölü Örtü Karbonu	4,75 ± 1,21 (3,05-5,89)	4,51 ± 2,70 (2,02-7,95)	5,11 ± 0,33 (4,72-5,45)
Ölü Odun Karbonu	1,82 ± 0,60 (1,16-2,41)	1,82 ± 0,20 (1,61-2,07)	2,17 ± 0,35 (1,87-2,57)
Diri Örtü Karbonu	0,16 ± 0,06 (0,09-0,21)	0,20 ± 0,12 (0,07-0,35)	0,11 ± 0,06 (0,07-0,20)

Şekil 3.2'de karbonun meşcere tiplerine göre dağılımı değerlendirildiğinde, gövde odunu karbonunun tüm meşcerelerde baskın karbon havuzu olduğu görülmektedir. Özellikle ÇkM meşcerelerinde dal ve yaprak karbonundaki artış, karışık meşcerelerde fotosentetik üretkenliğin ve biyolojik tamamlayıcılığın daha güçlü olduğunu göstermektedir. Buna karşılık

saf karaçam meşcerelerinde ölü örtü ve ölü odun karbonunun daha yüksek olması, ayrışma süreçlerinin daha yavaş ilerlediğine işaret etmektedir.



Şekil 3.2. Meşcere tiplerine göre toprak üstü bileşenlerde biriken mutlak karbon miktarları (t/ha).

3.2. Yüzdesel (%) dağılım istatistikleri

Tablo 3.3 incelendiğinde, biyokütlenin toplam dağılımında gövde odununun baskın bileşen olduğu görülmektedir. Karışık meşcerelerde dal biyokütlesinin toplam biyokütle içerisindeki payının arttığı, buna karşılık saf karaçam meşcerelerinde ölü örtü oranının daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir.

Biyokütlenin yüzdesel dağılımı incelendiğinde, tüm meşcere tiplerinde en yüksek payın gövde odununa ait olduğu görülmektedir. Gövde odununun toplam biyokütle içerisindeki oranı ÇkM meşcerelerinde %52,80 ile en yüksek düzeye ulaşmıştır. Saf karaçam meşcerelerinde ise bu oran %48,10 olarak belirlenmiştir. Gövde biyokütlesindeki bu artış, karışık meşcerelerde rekabetin boy büyümesini teşvik etmesiyle açıklanabilir.

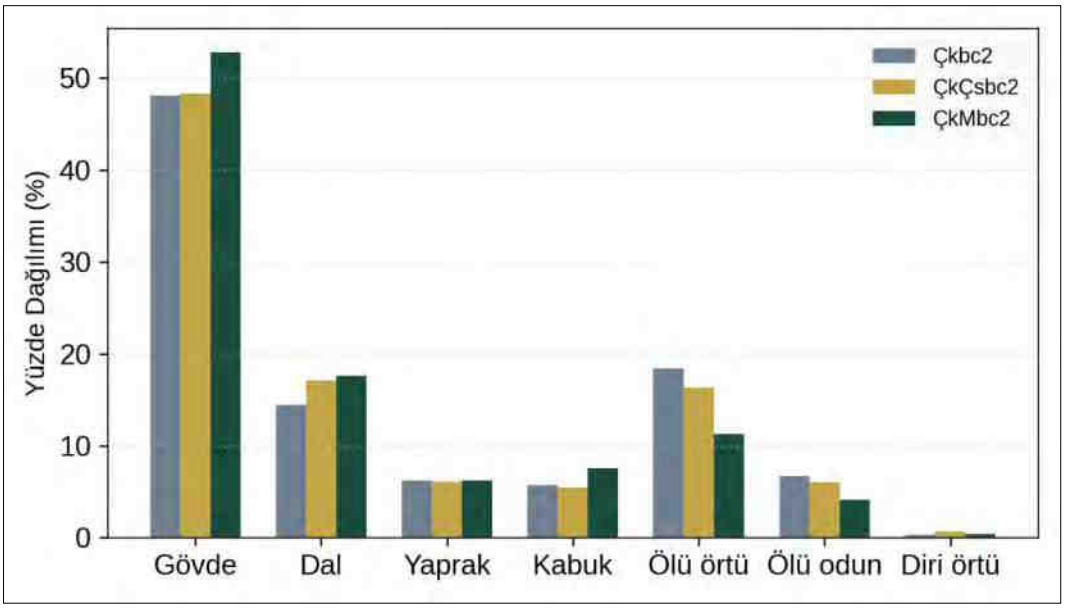
Dal biyokütlesinin toplam biyokütle içerisindeki payı karışık meşcerelerde belirgin biçimde yükselmiştir. ÇkM meşcerelerinde dal oranı %17,64'e ulaşmıştır. Bu durum, karışık meşcerelerde farklı türlerin oluşturduğu heterojen taç yapısının yanal dallanmayı artırdığını göstermektedir. Pretzsch ve Biber (2016), karışık meşcerelerde taç alanı kullanım etkinliğinin arttığını ve bunun toplam biyokütle dağılımını değiştirdiğini bildirmiştir.

Ölü örtünün toplam biyokütle içerisindeki payı saf karaçam meşcerelerinde %18,44 ile en yüksek düzeye ulaşmıştır. İbreli türlerin ayrışmaya dirençli organik maddeler üretmesi, ölü örtü birikimini artırmaktadır (Lal, 2005). Karışık meşcerelerde ise geniş yapraklı türlerin katkısıyla ayrışma hızlanmakta ve ölü örtü oranı düşmektedir. Ölü odun oranı da saf karaçam meşcerelerinde (%6,74) daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, saf meşcerelerde rekabet kaynaklı birey kayıplarının daha yoğun gerçekleştiğini düşündürmektedir.

Tablo 3.3. Toprak üstü biyokütlesinin yüzde (%) dağılım istatistikleri

Bileşenler	***P. nigra* - *Q. cerris* (%)**	***P. nigra* - *P. sylvestris***	***P. nigra* (%)**
Gövde Odunu	52,80 ± 11,76 (43,52-	48,33 ± 11,10 (35,96-	48,10 ± 4,52 (43,65-
Kabuk	7,57 ± 1,34 (6,38-9,12)	5,46 ± 1,60 (3,22-6,74)	5,70 ± 1,22 (4,53-7,40)
Dal	17,64 ± 10,73 (7,55-	17,12 ± 3,19 (14,18-	14,45 ± 5,25 (7,14-
Yaprak	6,23 ± 2,57 (3,99-9,38)	6,07 ± 0,77 (4,94-6,62)	6,22 ± 1,37 (5,04-7,57)
Ölü Örtü	11,30 ± 4,75 (7,74-	16,29 ± 9,19 (8,05-26,53)	18,44 ± 4,40 (13,91-
Ölü Odun	4,10 ± 1,27 (2,60-5,48)	6,03 ± 0,52 (5,59-6,79)	6,74 ± 1,78 (4,56-8,91)
Diri Örtü	0,38 ± 0,24 (0,22-0,72)	0,71 ± 0,36 (0,28-1,14)	0,36 ± 0,20 (0,17-0,62)

Şekil 3.3 değerlendirildiğinde, karışık meşcerelerde biyokütlenin canlı bileşenlere daha dengeli dağıldığı görülmektedir. Özellikle dal biyokütlesinin karışık meşcerelerde artış göstermesi, taç mimarisindeki farklılaşmanın biyokütle dağılımını etkilediğini ortaya koymaktadır. Saf karaçam meşcerelerinde ise ölü örtü ve ölü odun oranlarının daha yüksek olması, organik madde ayrışmasının daha yavaş gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 3.3. Saf ve karışık doğal karaçam meşcerelerinde biyokütlenin bileşenlere göre yüzde (%) dağılımı.

Tablo 3.4 incelendiğinde, karbonun toplam dağılımında gövde odununun en yüksek paya sahip olduğu görülmektedir. Karışık meşcerelerde dal karbonunun toplam karbon içerisindeki oranı artarken, saf karaçam meşcerelerinde ölü örtü ve ölü odun karbon oranlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Karbonun yüzdesel dağılımı biyokütle dağılımına benzer bir eğilim göstermiştir. Gövde odunu karbonunun toplam karbon içerisindeki oranı ÇkM meşcerelerinde %52,20, ÇkÇs meşcerelerinde %51,27 ve saf karaçam meşcerelerinde %47,09 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, karışık meşcerelerin karbonu daha fazla uzun ömürlü odunsu dokularda depolayabildiğini göstermektedir.

Dal karbonu oranı ÇkM meşcerelerinde %19,86 ile dikkat çekici düzeyde yüksek bulunmuştur. Bu sonuç, karışık meşcerelerde karbonun yalnızca gövdeye değil, aynı zamanda taç bileşenlerine de daha dengeli dağıldığını göstermektedir. Tür çeşitliliğinin ekosistem üretkenliğini artırdığı ve karbon depolama stratejilerini değiştirdiği farklı araştırmalarda da vurgulanmaktadır (Loreau, 2000; Bauhus vd., 2017).

Yaprak karbonu oranı saf karaçam meşcerelerinde (%7,58) nispeten daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, saf meşcerelerde ibre biyokütlesinin toplam karbon içerisindeki göreli payının daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

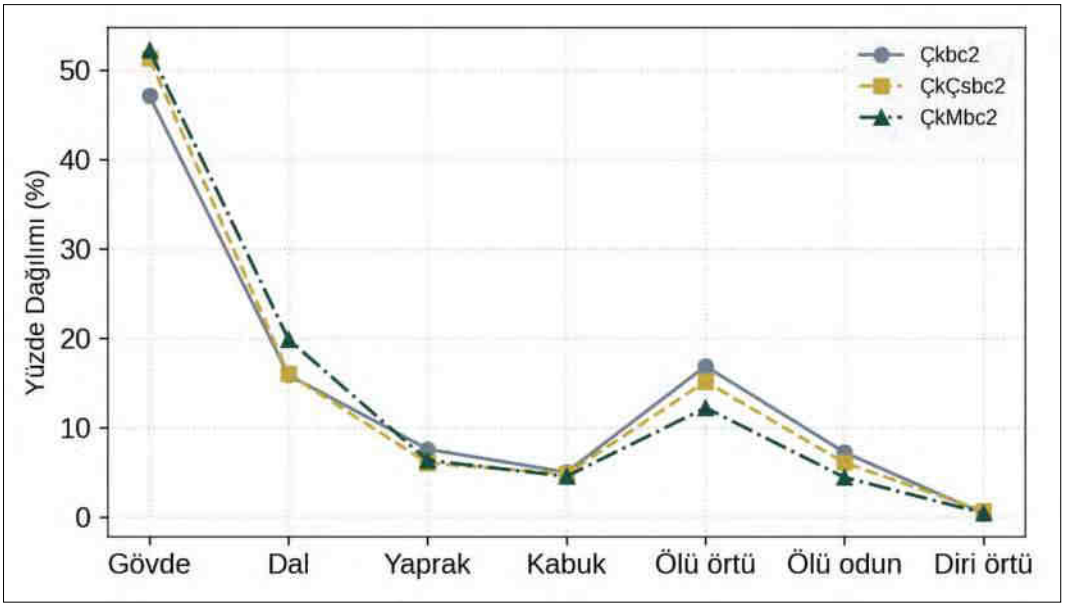
Ölü örtü karbonu saf karaçam meşcerelerinde %16,86 ile en yüksek değere ulaşmıştır. Saf ibreli meşcerelerde ayrışmanın yavaş olması nedeniyle karbonun önemli bir kısmı orman tabanında depolanmaktadır. Karışık meşcerelerde ise ayrışma süreçlerinin hızlanması nedeniyle karbon daha dinamik biçimde döngüye katılmaktadır (Shu vd. 2026).

Ölü odun karbonunun saf meşcerelerde daha yüksek olması, bu meşcerelerde doğal elenme süreçlerinin daha yoğun gerçekleştiğini göstermektedir. Ancak karışık meşcerelerde karbonun canlı biyokütle bileşenlerinde yoğunlaşması, bu meşcerelerin aktif karbon yutakları açısından daha avantajlı olduğunu düşündürmektedir.

Tablo 3.4. Karbonun yüzde (%) dağılım istatistikleri

Bileşenler	***P. nigra* - *Q. cerris* (%)**	***P. nigra* - *P. sylvestris***	***P. nigra* (%)**
Gövde Odunu Karbonu	52,20 ± 13,91 (38,34-	51,27 ± 10,62 (39,64-	47,09 ± 6,00 (40,73-
Kabuk Karbonu	4,54 ± 1,16 (3,43-5,72)	4,80 ± 1,33 (2,85-5,81)	5,00 ± 0,95 (4,02-6,27)
Dal Karbonu	19,86 ± 13,72 (7,05-	16,01 ± 3,35 (12,45-	15,87 ± 6,76 (6,39-
Yaprak Karbonu	6,34 ± 2,19 (4,18-8,58)	6,04 ± 1,17 (5,04-7,55)	7,58 ± 2,04 (5,60-9,64)
Ölü Örtü Karbonu	12,21 ± 5,43 (7,77-	15,15 ± 8,93 (7,13-24,33)	16,86 ± 2,90 (13,59-
Ölü Odun Karbonu	4,42 ± 1,09 (3,07-5,65)	6,06 ± 0,25 (5,81-6,40)	7,22 ± 1,85 (4,66-9,09)
Diri Örtü Karbonu	0,42 ± 0,27 (0,23-0,82)	0,67 ± 0,40 (0,28-1,22)	0,38 ± 0,22 (0,16-0,69)

Şekil 3.4 incelendiğinde, karışık meşcerelerde karbonun canlı biyokütle bileşenlerinde daha dengeli dağıldığı görülmektedir. Özellikle ÇkM meşcerelerinde gövde ve dal karbonunun toplam karbon içerisindeki payının artması, tür çeşitliliğinin karbon depolama kapasitesi üzerindeki olumlu etkisini ortaya koymaktadır. Buna karşılık saf karaçam meşcerelerinde ölü örtü ve ölü odun karbon oranlarının yüksek olması, ayrışma süreçlerinin daha yavaş işlediğini ve karbonun orman tabanında daha uzun süre tutulduğunu göstermektedir.



Şekil 3.4. Karbon bileşenlerinin meşcere tiplerine göre yüzde (%) bazlı değişimi.

5. Sonuç ve Öneriler

Küresel iklim değişikliği senaryoları altında, karbon yutak alanlarının optimizasyonu ve ekosistem direncinin artırılması amacıyla, monokültür veya saf meşcere yönetimi yerine karbonu farklı ekosistem kısımlarında (gövde, dal, ölü örtü) daha dengeli ve dinamik biçimde depolayabilen karışık meşcere (özellikle ibreli-yapraklı) kuruluşları ormancılık planlarıyla teşvik edilmelidir. Ayrıca, ulusal sera gazı envanterlerinde ve karbon kredilendirme projelerinde standart, tek tip ve genelleştirilmiş Biyokütle Genişletme Faktörleri (BEF) kullanmak yerine, bu çalışmada sunulan meşcere tipine ve bileşenlere özgü yerel dağılım oranlarının tercih edilmesi tahminlerin doğruluk derecesini anlamlı düzeyde yükseltecektir.

Diğer taraftan, ölü odun havuzunun karbon döngüsü ve ekosistem biyoçeşitliliği üzerindeki kritik rolü gözetilerek, bakım ve aralama müdahaleleri sırasında sahada belirli bir hacimde ölü odun materyalinin bırakılması amenajman planlarına entegre edilmelidir. Son olarak, yürütülen bu araştırma toprak üstü havuzlarla sınırlandırıldığından, ekosistemin tam bir karbon bilançosunun elde edilebilmesi adına gelecek çalışmalarda toprak altı biyokütle (ince ve kalın kökler) ile toprak organik karbonu (SOC) havuzlarının da bu meşcere tiplerinde eşzamanlı olarak araştırılması önerilmektedir.

Teşekkür

Bu araştırmanın bir kısmı, 1180311 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenmiş olup birinci yazarın doktora tezinden üretilmiştir. Çalışmaya sağladığı katkı ve desteklerden dolayı danışman hocamıza ve TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Asan, Ü. (1995). Global iklim değişimi ve Türkiye ormanlarında karbon birikimi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, *45*(1-2), 23-38. https://dergipark.org.tr/tr/pub/jffiu/article/197548

Atalay, İ. (1994). *Türkiye vejetasyon coğrafyası*. Ege Üniversitesi Basımevi.

Bauhus, J., Forrester, D. I., Pretzsch, H., Felton, A., Pyttel, P., Benneter, A. (2017). Silvicultural options for mixed-species stands. In *Mixed-species forests: Ecology and*

management (pp. 433-501). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54553-9_9

Boydak, M., Çalışkan, S. (2014). *Ağaçlandırma*. Ormancılığı Geliştirme ve Orman Yangınları ile Mücadele Hizmetlerini Destekleme Vakfı (OGEM-VAK) Yayını, İstanbul.

Brown, S. (1997). *Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A primer*. Rome: FAO Forestry Paper No. 134.

Durkaya, A., Durkaya, B., Cakil, E. (2010). Predicting the above-ground biomass of crimean pine (*Pinus nigra*) stands in Turkey. *Journal of Environmental Biology*, *31*(1), 115.

IPCC. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. *Forest ecology and management*, *220*(1-3), 242-258. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.015

Loreau, M. (2000). Biodiversity and ecosystem functioning: recent theoretical advances. *Oikos*, *91*(1), 3-17. https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.910101.x

Pretzsch, H., & Forrester, D. I. (2017). Stand dynamics of mixed-species stands compared with monocultures. In *Mixed-species forests: Ecology and management* (pp. 117-209). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54553-9_4

Pretzsch, H., Biber, P. (2016). Tree species mixing can increase maximum stand density. *Canadian Journal of Forest Research*, 46(10), 1179-1193. https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0413

Shu, X., Chen, D., Chen, J., Zhou, Z., Luo, Y., Zhang, Y., Tang, H., Deng, D., Xia, L. (2026). Mixed forestation outperforms pure stands in soil carbon sequestration and stability. *Global Change Biology*, 32(3), e70812. https://doi.org/10.1111/gcb.70812

Tolunay, D. (2011). Total carbon stocks and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *35*(3), 265-279. https://doi.org/10.3906/tar-0909-369

Walkley, A., Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, *37*(1), 29-38. http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

NADİR KÜLTÜRLERDE MİKROBİYAL KONTAMİNASYONUN EKONOMİK YOLLARLA ÖNLENMESİ

Mirac YAMAN[1], Murat DİKİLİTAŞ[2], Ayşe Yıldız PAKYÜREK[1]

[1]Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Orcid: 0000-0003-1877-5501

[1]Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Orcid: 0000-0003-4783-0960

[2]Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Orcid: 0000-0002-7399-4750

Özet

Bitki doku kültürü çalışmalarında, uzun uğraşlar ve masraflar sonucu geliştirilen ve ticari olarak elde edilmesi mümkün olmayan kallus geliştirme ortamlarında oluşması muhtemel bakteriyel kontaminasyonun, filtre (0.22 µm) kullanarak önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca antibiyotiklerin yüksek sıcaklıklar altında etkinliğini kaybettikleri gerekçesiyle, çoğu laboratuvar çalışmasında filtre sterilizasyonun gerekliliği vurgulanmaktadır. Ancak, yürütülen ön çalışmalarda, kültürlerde tespit edilen kontaminasyonun sadece filtre kullanarak engellenemediği belirlenmiştir. Bu çalışmada, farklı sterilizasyon koşullarında (otoklav edilmiş veya edilmemiş) Rifamycin SV antibiyotiğinin kontaminasyon üzerine etkinliği incelenmiştir. Araştırmada filtreden geçirilmiş veya geçirilmemiş antibiyotik uygulaması ile sadece filtreden geçirilmiş *Pseudomonas* spp. popülasyonunun kontaminasyon durumu karşılaştırılmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bakterilerin filtreden geçebildiği ispat edilmiş, antibiyotik uygulamasının ise mutlaka yapılması gerektiği belirlenmiş, uygulamada kullanılan antibiyotiğin otoklav edilip edilmemesinin veya filtreden geçirilip geçirilmemesinin bir önemi olmadığı ve bakteri gelişimini engellediği tespit edilmiştir. Günümüzde laboratuvar sarf malzemelerine erişim yüksek bütçeli kurumlar için kolaylaşmış olsa da, düşük bütçeli araştırmalar için alım gücü halen ciddi bir kısıttır. Önerilen bu yaklaşım, filtre sterilizasyonunun mümkün olmadığı ve sarf malzemesi temininin güçleştiği koşullarda, nadir kültürlerin devamlılığını sağlamak adına ulaşılabilir bir alternatif sunmaktadır. Finansal desteği kısıtlı laboratuvarlarda filtrelerin zamanında temin edilememesi veya beklenen etkinliği göstereme

mesi, araştırmacıların sıklıkla karşılaştığı teknik engellerdir. Bu çalışma, uygun antibiyotik kullanımıyla alt kültürlerin sağlıklı bir şekilde sürdürülebileceğini ve kısıtlı imkanlara rağmen araştırmaların kesintisiz devam ettirilebileceğini öngörmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Kallus, antibiyotik (Rifamycin SV), bakteri (*Pseudomonas* spp.), kontaminasyon, otoklav.

1. GİRİŞ

In vitro bitki kültürlerindeki kirletici organizmalar arasında virüsler, bakteriler, mayalar, mantarlar, akarlar ve tripsler bulunur. Bakteriyel kontaminasyonun kültürlerde ciddi sorunlara neden olabileceği yaygın olarak bildirilmiştir (Leifert vd. 1991; Reed ve Tanprasert 1995). *In vitro* bitki kültürlerindeki bakteriyel kontaminasyonun çoğu, eksplantların, kültür kaplarının, aletlerin veya besiyerlerinin yetersiz sterilizasyonundan kaynaklanır veya bitkisel materyal üzerinde işlem yaparken meydana gelir (Leifert vd. 1991). Bakteriler normal bitki fizyolojisi ve morfolojisini değiştirebilir, kültür protokollerinin tekrarlanabilirliğini engelleyebilir, *in vitro* gen bankaları için ciddi sorunlara neden olabilir, germplazmanın güvenli değişimini önleyebilir ve kontaminasyon göz ardı edilirse araştırma çalışmalarında yanıltıcı sonuçlara yol açabilir (Thomas 2004). Bakteriyel kontaminasyon genellikle görsel olarak tespit edilebilmesine rağmen, bazı durumlarda bakteriler açıkça tespit edilebilir semptomlar üretmez, ancak yine de bitki materyali ile birlikte yayılırlar. Bu bakteriler "gizli", "dahili", "endofitik" veya "endojen" bakterilerdir (Leifert ve ark. 1991). Bahsi geçen durumlarda Mikrobiyal kontaminasyon oranları, antibiyotikler gibi kültür ortamlarına ilave edilen antimikrobiyal bileşikler ile engellenebilir veya büyük oranda azaltılabilir. Bu koruyucu maddelerden biri olan Rifamisin SV, Gram pozitif bakterilere karşı etkili ve Gram negatif organizmalara karşı orta derecede etkili, sınırlı oral emilimli, rifamisin grubundan geniş spektrumlu, yarı sentetik bir antimikrobiyal ajandır (Sensi, 1983). Rifamisin grubunun tüm üyelerinde olduğu gibi, rifamisin SV de bakteriyel RNA polimerazlarına müdahale ederek DNA transkripsiyonunu inhibe eder (Calvori ve ark., 1965; Wehrli, 1983).

Antibiyotiklerin yüksek sıcaklıklar altında etkinliğini kaybettikleri gerekçesiyle, çoğu laboratuvar çalışmasında filtre sterilizasyonun gerekliliği vurgulanmaktadır. Nitekim konu ile ilgili yapılan bir çalışmada, çeşitli kombinasyonlar da dahil olmak üzere 62 antimikrobiyal ajan, sırasıyla 56°C'de 30 dakika ve 121°C'de 15 dakika boyunca stabilite açısından incelenmiştir. 62 ayrı antimikrobiyal veya kombinasyon arasında, /β-Maktam antibiyotiklerinin çoğu otoklavlama ile kapsamlı veya tamamen inaktive edilmiştir. Ancak şaşırtıcı bir şekilde, azlosilin, aztreonam, mezlosilin ve oksasilin'in dikkate değer ölçüde ısıya dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Tüm aminoglikozitler, tüm kinolonlar, kloramfenikol, klindamisin, kumaremisin, fosfomisin, josamisin, mupirosin, novobiosin, kotrimoksazol, trimetoprim ve vankomisin ısıya dayanım göstermiştir. Birkaç β-laktam antibiyotik, fusidik asit, nitrofurantoin, polimiksin B, rifampisin ve teikoplanin'in kısmen ısıya dayanıksız olduğu; yani antibakteriyel aktiviteyi dört ila sekiz kat azalttığı gözlemlenmiştir. Isıya dayanıklı antibiyotiklerin otoklavlamadan önce rehidrate edilmiş ortama eklenebilmesi sayesinde antibiyotik içeren seleksiyon besiyerlerinin geliştirilmesini ve hazırlanmasını kolaylaştırabilmesi açısından da önemlidir (Traub ve ark., 1995).

Günümüzde laboratuvar sarf malzemelerine erişim yüksek bütçeli laboratuvarlar için büyük ölçekte kolaylaşmışken, düşük bütçeli çalışmalar için alım gücü hala önemli bir problemdir. Söz konusu bu araştırma, laboratuvar çalışmalarında kullanılan bir antimikrobiyal ajan olan Rifamisin SV'nin 121°C'de 20 dakika otoklavlanması sonrası kültür ortamında etkinliğinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu yöntem filtre sterilizasyonun mümkün olmadığı ve sarf malzemelerine erişimin güç olduğu durumlarda nadir kültürlerin devamlılığının sağlanmasında alternatif ve ulaşılır bir yöntem olarak kullanılabilecektir.

2. MATERYAL ve METOT

Araştırmada kullanılan kalluslar, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümüne ait Doku Kültürü Laboratuvarında Urfa biberine ait kotiledon yapraklarının, *in vitro* koşullarda yetiştirilmesi ile elde edilmiştir. Ayrıca denemede kullanılan bakteri kolonileri, kültür ortamlarına 10 ml steril saf su ilave edilerek enfeksiyon kaynağı olarak kullanılmak üzere izole edilmiştir. İzole edilen bakterilerin canlılık durumu %1'lik TTC ile belirlenmiş, daha sonra ise lam üzerinde ışık mikroskobu ile koloni yoğunluğu görsel olarak incelenmiştir. Enfeksiyon oluşturabilecek yoğunlukta olduğu belirlenen bakteri süspansiyonu çalışmada kullanılmak üzere steril koşullarda muhafaza edilmiştir.

Doku kültürü çalışmalarında kullanılan ekipmanlar, kullanım öncesi 121°C'de 1 atm basınç altında 20 dakika otoklavda sterilizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Besin ortamları otoklavlama öncesinde 1N HCl (hidroklorik asit) ya da 1N NaOH (sodyum hidroksit) ile pH'ları 5.6 olacak şekilde ayarlanmıştır (Hatipoğlu, 1997). Çalışmada, tüm besin ortamları için 4.4 g/L MS (Murashige ve Skoog, 1962), 30 g/ L sukroz, 7 g/L agar, sabit miktarlarda kullanılmıştır. Denemede bakteri ve antibiyotik uygulamaları yapılan gruplarda filtre sterilizasyonu 0.22 µm membran filtre ile; otoklav sterilizasyonu ise 121°C 20 dk olacak şekilde yapılmıştır. Ardından kontrol, yalnızca bakteri ve bakteri+Rifamisin SV kombinasyonlarını içeren 5 farklı uygulamanın kontaminasyon ve antibiyotik etkinliği değerlendirilmiştir (Çizelge 2.1.). Kültürler, denemenin sonlandırılmasına kadar geçen süre (12 gün) boyunca her gün gözlemlenerek meydana gelen değişimler not edilmiştir.

Çizelge 2.1. Farklı bakteri ve antibiyotik gruplarını içeren deneme grupları

Grup	***Açıklama***	***Antibiyotik Durumu***
1	Kontrol	Yok
2	Filtreden geçirilmiş *Pseudomonas* spp.	Yok
3	Rifamisin SV (filtrelenmiş) + Filtreden geçirilmiş *Pseudomonas* spp.	Var
4	Rifamisin SV Otoklavlanmamış ve filtrelenmemiş + Filtreden geçirilmiş *Pseudomonas* spp.	Var
5	Rifamisin SV otoklavlı + Filtreden geçirilmiş *Pseudomonas* spp.	Var

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

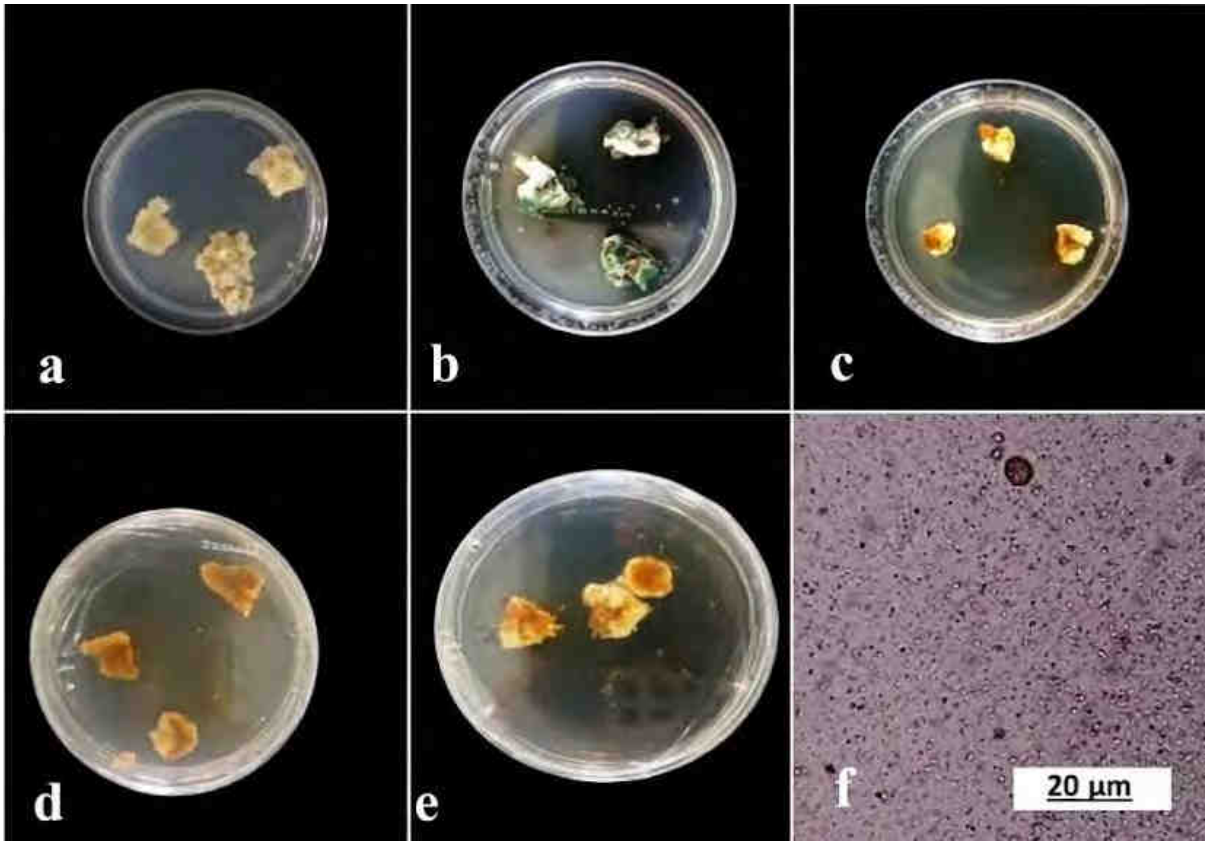
Bu çalışmada, *in vitro* koşullarda yetiştirilen Urfa biberi eksplantları (kallus), dışarıdan uygulama yoluyla Rifamisin SV ile muamele edilmiştir. Filtre (0.22 µm membran filtre) ve otoklav (121°C 20 dk) sterilizasyonuna tabi tutulan Rifamicin SV'nin mikrobiyal kontaminasyon üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda hem filtre hem de otoklav sterilizasyonuna tabi tutulan Rifamicin SV'nin kültürlerde mikrobiyal enfeksiyonu önlediği belirlenmiştir. Tüm uygulamalar arasından kontrol (antibiyotik ve bakteri uygulanmayan) dışında; antibiyotik kullanılan tüm uygulamalarda herhangi bir mikrobiyal kontaminasyona

rastlanmamış ve %100 oranında başarı sağlanmıştır (Çizelge 3.1). Mikrobiyal kontaminasyonun görüldüğü 2. uygulama incelendiğinde filtre sterilizasyonun antibiyotik uygulaması olmadan yetersiz kaldığı ve kültürlerin %100 oranında kontamine olduğu görülmektedir (Şekil 3.1). Alınan gözlemler sonucunda grupların kültüre alınmasından 2 gün sonra mikrobiyal kontaminasyonların net bir şekilde görüldüğü saptanmıştır. Söz konusu bu çalışmada Traub ve ark., (1995)'nın aksine; yarı sentetik bir türev olan Rifampisin yerine; Streptomyces mediterranei adlı bakteriden elde edilen ve yarı sentetik bir antibiyotik alt türü olan Rifamisin SV kullanılmıştır. Rifamisin SV'nin otoklavlama sonrasında da etkinliğini devem ettirdiği belirlenmiştir. Bu durumda Rifamisin SV'nin otoklavlanma sonrasında dahi bakteri oluşumunu baskılayacak kadar etkili olabileceği sonucuna varılmıştır.

Rifamisin SV'nin otoklavlanabilir olması, filtre sterilizasyonu gibi zaman alıcı, masraflı ve kontaminasyon riski barındıran aşamaların elenmesine olanak tanıyarak, *in vitro* çalışmalarda maliyet ve zaman açısından tasarruf sağlayabilir.

Çizelge 3.1. Deneme gruplarının kontaminasyon üzerine etkileri

Grup	***Açıklama***	***Kontaminasyon Durumu***
1	Kontrol	Yok
2	Filtreden geçirilmiş *Pseudomonas* spp.	Var
3	Rifamisin SV (filtrelenmiş) + Filtreden geçirilmiş *Pseudomonas* spp.	Yok
4	Rifamisin SV Otoklavlanmamış ve filtrelenmemiş + Filtreden geçirilmiş *Pseudomonas* spp.	Yok
5	Rifamisin SV otoklavlı + Filtreden geçirilmiş *Pseudomonas* spp.	Yok



Şekil 3.1. a)Kontrol (herhangi bir uygulama yapılmayan; b)Filtreden geçirilmiş *Pseudomonas spp*. uygulanmış; c) Rifamisin SV (filtrelenerek uygulanmış); d) Rifamisin SV Otoklavlanmamış ve filtrelenmemiş olarak uygulanmış; f)Rifamisin SV otoklavlanarak uygulanmış kalluslar. f) Denemede kullanılan bakteri kolonileri.

KAYNAKLAR

Calvori, C., Frontali, L., Leoni, L., Tecce, G. (1965). Effect of rifamycin on protein synthesis. *Nature*. 207: 417-418.

Hatipoğlu, R. (1997). *Bitki Biyoteknolojisi*. Adana: Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayınları.

Leifert, C., Ritchie, J. Y., Waites, W. M. (1991). Contaminants of plant-tissue and cell-cultures. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 7: 452-469.

Murashige, T., Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 15(3): 473-497**.**

Reed, B. M., Tanprasert, P. (1995). Detection and control of bacterial contaminants of plant tissue cultures. A review of recent literature. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*. 1: 137-142. [Varsa DOI eklenecek]

Sensi, P. (1983). History of the development of rifampin. *Review of Infectious Diseases*. 5(Suppl. 3): S402-S406.

Thomas, P. (2004). A three-step screening procedure for detection of covert and endophytic bacteria in plant tissue cultures. *Current Science*. 87: 67-72.

Traub, W. H., Leonhard, B. (1995). Heat stability of the antimicrobial activity of sixty-two antibacterial agents. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 35(1): 149-154.

Wehrli, W. (1983). Rifampin: mechanisms of action and resistance. *Review of Infectious Diseases*. 5(Suppl. 3): S407-S411.

INVESTIGATION OF PHYTOREMEDIATION AND BIOMONITORING POTENTIAL OF C*nicus benedictus* L.

Aynur DEMİR[1], Onur ALTINBAŞAK[2], Betül BÜYÜKKILIÇ ALTINBAŞAK[3], Adeleh RASHİDİ[4]

[1]Department of Urbanization and Environmental Problems, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Aksaray University, Aksaray, Türkiye,

Orcid: 0000-0002-7856-2789

[2]Department of Pharmacy Services, European Vocational School, Kocaeli Health and Technology University, Kocaeli, Türkiye,

Orcid: 0000-0002-7167-7663

[3]Department of Pharmacognosy, Faculty of Pharmacy, Kocaeli Health and Technology University, Kocaeli, Türkiye,

Orcid: 0000-0002-9250-776X

[4]Department of Environmental Engineering, Engineering Faculty, Hacettepe University, Ankara, Türkiye,

Orcid: 0000-0002-4831-7539

Abstract

This research investigated the nutrient element content and phytoremediation potential of *Cnicus benedictus L*. which is a medicinal plant. The plant and soil samples, used as the research material, were collected from various locations within Kocaeli province in Türkiye. The collected samples were evaluated for the concentrations of the essential microelements copper (Cu), zinc (Zn), iron (Fe), chromium (Cr), and nickel (Ni). ICP-MS (Thermo Scientific X-Series II) was used in the analysis of plant and soil samples and the obtained data were statistically evaluated with SPSS (v.26). The results obtained indicated that the concentrations of Zn (41 mg/kg), Ni (1.1 mg/kg), and Fe (53 mg/kg) in the plant tissues were within the optimum levels for plant growth, while Cu (31.67 mg/kg) and Cr (1.667 mg/kg) exceeded the optimum range. Similarly, the soil samples revealed optimal levels of Zn (55 mg/kg), Ni (32.33 mg/kg), Cr (12.33 mg/kg), and Fe (310 mg/kg), while Cu (42.67 mg/kg) was above the threshold, indicating potential Cu contamination in the studied areas. Despite elevated Cu levels in both plant and soil samples, the bioconcentration factor (BCF) values for all elements were found to be less than 1, suggesting that *C. benedictus* does not exhibit a tendency to accumulate these metals and demonstrates tolerance instead. Its ability to grow in contaminated soils without accumulating toxic metals highlights its utility in environmental monitoring and risk assessment studies. As a result, while the species exhibits limited potential for phytoremediation, it holds significant promise as a biomonitoring agent.

Anahtar kelimeler: Biomonitoring, *Cnicus benedictus* L., heavy metals, nutrient element, phytoremediation.

1. Introduction

C. benedictus is a medicinally important species belonging to the Asteraceae family (Ahmadimoghaddam, et al., 2020). The Asteraceae family is one of the largest plant families in the world, comprising approximately 1,911 genera and 32,913 species with a wide global distribution. In Türkiye, the family is represented by 143 genera and approximately 1,484 species (Şenkardeş, et al., 2019). Although *C. benedictus* is a species native to the Mediterranean region, it has a wide distribution particularly in Asia, Eastern Europe, and the Mediterranean coastal regions of Africa (Al-Snafi, 2016; Ghiasy-Oskoee, et al., 2020; Rezig, et al., 2016; Szabó, et al., 2009). *C. benedictus* is the only species of the genus *Cnicus* that is distributed in Türkiye, where it exhibits a broad natural range (Davis, 1975). The Latin term *"benedictus"*, which constitutes the species name, implies the potent healing properties of the blessed thistle (*C. benedictus*) (Al-Snafi, 2016). In various regions of Türkiye, the plant is known by several local names, including *kenger*, *altındikeni*, *sarı diken*, *akkız*, *sarıcakız*, *akdiken*, and *kutsanmış devedikeni* (Hayıt, 2023). The species has also been referred to by numerous synonyms in the literature, such as *Centaurea benedicta* L., *Carduus benedictus* (L.) Garsault, and *Benedicta officinalis* Bernh. (Tiwana, et al., 2021). *C. benedictus* typically grows to a height of 2–35 cm. Its leaves possess a membranous texture with prominent venation. The stem is highly branched and covered with soft, sticky trichomes. Leaf margins are spiny, toothed, and serrately lobed, though they may occasionally appear nearly entire. Basal leaves are generally sessile, while upper leaves may be petiolate or clasping the stem. The basal leaves are rectangular-lanceolate in shape, measuring 7–22 cm in length and 1.5–4 cm in width (Fig. 1). The uppermost leaves are broader, oval-rectangular, with an entire base, and gradually become more rigid. The flowers are shorter than the involucre and are pale yellow in color. The epicalyx is oval-shaped. Achenes measure between 4.5–9 mm in length. The outer pappus scales (palea) may be either shorter or longer than the achene. Flowering occurs from April to June. The species typically grows at elevations between 70 and 1580 meters, thriving in scrublands, rugged steppes, and along roadsides (Al-Snafi, 2016; Davis, 1975). Its ability to grow in moderately fertile soils enhances its resistance to diseases and pests.

Fig. 1 General view of *C. benedictus* in nature

The flowers, stems, and leaves of *C. benedictus* have been used for nutritional and medicinal purposes since ancient times (Tuzlacı, 2011). In addition to its traditional use in the treatment of liver diseases, the plant exhibits antioxidant, anti-inflammatory, and antibacterial properties due to the presence of active compounds and phenolic substances. Phenolic acids such as vanillic acid and silibinin B have been found in high concentrations, particularly in the leaves and roots of the plant. The roots of the species have been reported to contain rutin, *trans*-cinnamic acid, protocatechuic acid, gallic acid, *p*-coumaric acid, and *p*-hydroxybenzoic acid. These phenolic compounds are primarily responsible for the antioxidant activity of the species (Can et al., 2017). The compound cynaropicrin, found in the plant, has demonstrated antibacterial effects against a wide range of Gram-negative and Gram-positive bacteria (Yasin & Ibrahem, 2017, Yasin et al., 2018). Furthermore, studies have shown that cynaropicrin exhibits high cell permeability and drug-like properties. Therefore, this species holds promise as a potential candidate for the development of future drugs against COVID-19 variants (Alhadrami, 2021). Studies have demonstrated that this plant is rich in Linoleic acid, an essential oil beneficial for human heal (Horn et al., 2015). Due to its oil content, investigations are also being conducted on its potential use as biodiesel (Matei et al., 2021). The research conducted by Ghiasy-Oskoee et. al. (2020) demonstrate that the plant can be utilized in the restoration of damaged lands and is suitable for cultivation in saline environments. Furthermore, the plant possesses the potential for use as animal feed. As evident, while there is a substantial body of research concerning the diverse utilization potential of the plant, primarily its medicinal applications, investigations into its heavy metal sequestration and phytoremediation capabilities remain significantly limited. Phytoremediation relies on the removal of xenobiotics from soil through biological, chemical, and physical processes using plants. It is known that there are approximately 400 ecotypes capable of accumulating heavy metals from soil. Certain plants exhibit greater phytoremediation capabilities than others. Plants suitable for accumulating xenobiotics should possess resistance to plant pests, exhibit rapid growth, easily adapt to the environment, and achieve high biomass. Phytoremediation is more preferable than physical remediation methods due to its effectiveness, non-harmful nature, and economic

viability, and it is more compatible with the ecosystem (Mocek-Płóciniak, et al., 2023). Based on this, the micro-nutrient element content of *C. benedictus* species, including copper (Cu), zinc (Zn), iron (Fe), chromium (Cr), and nickel (Ni), collected from different locations in Kocaeli was investigated in this study. Furthermore, the utilization potential of the plant for phytoremediation and biomonitoring was evaluated, considering the plant-soil interaction in this research.

2. Material and Methods

2.1. Research area

The study area encompasses the surroundings of Akçat Village in the Karamürsel district, located in the southeastern Marmara Region (Fig. 2), south of the Gulf of İzmit. Karamürsel is bordered by the east-west-oriented Samanlı Mountains and is characterized by low-lying alluvial plains and plateau surfaces at 400-500 meters. Situated in a transition zone between Mediterranean and Black Sea climates, the region experiences hot summers and cool, rainy winters. These climate characteristics, with an average temperature of 14.5 °C and annual rainfall of 705 mm, provide suitable conditions for phytoremediation studies. Rivers such as Yalakdere and its tributaries nourish the region's fertile soils, contributing to the local ecosystem.

Fig. 2 Overview of the research area. Akçat Village in the Karamürsel district in Kocaeli, Türkiye

2.2. Collection and Preparation of Plant and Soil Samples

Plant and soil samples were collected on June 10, 2024, from three distinct locations in Akçat Village, Karamürsel district, Kocaeli province (Table 1). *C. benedictus* samples were collected using a random sampling method to ensure representation of the entire region. The roots of the collected plant samples were soaked in water for 24 hours to remove soil. The plant samples, dried in an oven, were prepared for analysis. The species identification was performed by O. Altınbaşak. The soil samples intended for analysis were collected from three distinct locations within the sampling area (approximately 500 g from each location) at a depth of 15 cm using a stainless-steel shovel. The soils dried at

room temperature and in an oven (approximately 40°C) were pulverized into friable clods by grinding in a mortar. Stones, roots, and other extraneous materials were also manually removed. Subsequently, the soil samples were sieved through a 2 mm mesh, transferred to a suitable container, labeled, and ultimately utilized for analysis. The soil samples weighing less than 2 grams were prepared using a 0.25 mm sieve. To establish the working standard of the CNS (Carbon, Nitrogen, Sulfur) analyzer, 0.04-50 mg of nitrogen, 0.02-175 mg of carbon, and 0.01-20 mg of sulfur were employed.

Table 1. Location information of plant and soil samples

Plant and Soil Samples	**Location**
1 Akçat Village, Karamürsel	40°36'49.7"N 29°39'06.7"E
2 Akçat Village, Karamürsel	40°36'49.0"N 29°39'05.5"E
3 Akçat Village, Karamürsel	40°36'48.9"N 29°39'03.6"E

2.3. Analysis of Data

In this study, element measurements were conducted using an ICP-MS (Thermo Scientific X-Series II) instrument, complemented by Thermo Scientific D 100 automated diluter and Cetac Asx-260 autosampler accessories. A 5% nitric acid dilution with ultrapure water was used in all samples. A High Purity Standards QCS-27 series calibration solution, containing 5 elements, was utilized for the preparation of calibration curves. During the preparation of calibration curves for all elements, the element concentration in the sample was taken into account, and a correlation coefficient greater than 0.99 was accepted. In the analysis of the parameters, the primary run number was set to 3. Sampling and washing times were adjusted to 60 seconds. Calibrations and blank solution readings were repeated after every 40 readings. The TruSpec Micro instrument was employed as the elemental analyzer (CNS). The efficiency and speed of the TruSpec Micro CNS result from the combination of a flow-through carrier gas system with separate, highly selective infrared (IR) and thermal conductivity detection systems. Weighed micro-samples (soil or plant) are placed into the1 TruSpec Micro's autosampler, automatically lowered into the high-temperature (950°C) furnace for carbon and nitrogen, and the (1350°C) furnace for sulfur combustion, allowing for sample combustion.

2.3.1. Statistical Analyses

Data were analyzed using multivariate analysis of variance (MANOVA), Tukey's post-hoc HSD test, and Pearson correlation, all computed with IBM SPSS Statistics 20 software. Statistical significance was denoted at $^{**}P<0.01$ and $^{*}P<0.05$ levels (two-tailed).

2.3.2. Bioconcentration factor

The Bioconcentration Factor (BCF) is employed as a metric to assess the propensity of a plant species to bioaccumulate metals from contaminated environments. Specifically, the BCF quantifies the ratio of metal concentration in plant tissues to that of the surrounding soil matrix. Plant taxa exhibiting BCF values exceeding unity (>1) demonstrate an

enhanced capacity for metal uptake and accumulation, thereby suggesting their potential utility in phytoremediation strategies." (Ghosh and Singh, 2005, Rashidi et al., 2024).

BCF = metal concentration in the plant tissue/metal concentration in the soil

3. Results And Discussion

The data obtained from the analysis of plant and soil samples taken from three different locations are presented in Table 2. Upon examination of the mean metal concentrations in plant samples across various locations, it was observed that zinc (Zn: 41 mg/Kg), nickel (Ni: 1.1 mg/Kg), and iron (Fe: 53 mg/Kg) values were within the optimal range, while copper (Cu: 31.67 mg/Kg) and chromium (Cr: 1.667 mg/Kg) concentrations exceeded the optimal levels. In this context, the essential micronutrient status of Zn, Ni, and Fe for plants, when present at optimal concentrations, positively influences plant growth and development. As a result, *C. benedictus* benefits adequately from these micronutrients. However, the finding that Cu and Cr metal concentrations are above optimal values implies a potential link to environmental pollution or soil-related factors (Ph, organic matter, mineral content and other physical and chemical properties etc).

Table 2. The matrix of optimum values and BCF values for the element contents of plant and soil samples belonging to the *C. benedictus* species

	Elements (mg/Kg)										
Elements	**Location of Solil**			**Location of Plant**			**Average Elements**		**Optimum Value***		**Bioconcentration Factor (BCF)**
	1	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**	**Plant**	**Soil**	**Plant**	**Soil**	
Zn	50	60	55	40	42	41	41	55	20-150	10-300	**0.745**
Ni	30	35	32	1.0	1.2	1.1	1.1	32.33	0.1-5	**10-50**	**0.340**
Cu	40	45	43	30	33	32	**31.67**	**42.67**	**5-30**	**5-30**	**0.742**
Cr	10	15	12	1.5	1.8	1.7	**1.667**	12.33	**0.1-0.5**	**5-120**	**0.135**
Fe	300	320	310	50	55	53	52.66	310	**5-250**	**5000-50000**	**0,170**

* References for optimum values in soil and plant (Barker & Pilbeam, 2007; Blum et al., 2014; Gosh and Singh, 2005; Jones; 2005; Kabata-Pendias, 2001; Kabata-Pendias & Pendias, 2001; Kacar & Katkat, 2010)

Research conducted by Naz et al. (2024) has demonstrated the high potential of *C. benedictus* for cadmium (Cd) accumulation. These studies revealed that *C. benedictus* naturally occurs in Cd-contaminated soils and is capable of accumulating significant amounts of cadmium in both its roots and shoots. This suggests that the plant may be a promising candidate for phytoextraction. In these studies, *C. benedictus* was reported to be more effective in Cd phytoextraction compared to some other plant species. It was found that the mean element concentrations (mg/Kg) in soil samples, specifically Zn (55),

Ni (32.33), Cr (12.33), and Fe (310), aligned with the soil's optimal values, whereas the Cu (42.67) concentration surpassed the optimal levels. The presence of Zn, Ni, Cr, and Fe nutrients at optimal levels in the soil is of paramount importance for soil fertility and plant-soil interactions. It is evident that the Cu nutrient element exhibits significantly high concentrations in both plant and soil samples, suggesting a considerable Cu contamination load in the soils where this plant is grown. However, when examining the Bioconcentration Factor (BCF) values for this study, it is observed that the BCF value is less than 1 for all elements (Table 2). It can be inferred that this species does not demonstrate an inclination to accumulate elements from the soil, indicating its tolerance to these elements. Consequently, the utilization potential of this plant for phytoremediation is diminished. Given this situation, *C. benedictus* is considered a valuable resource for environmental or bio-monitoring investigations. Even if plants do not accumulate pollutants within their tissues, they can exhibit physiological or morphological changes when exposed to pollutants. These changes can be used to determine the presence and level of pollutants in the environment. This situation significantly contributes to environmental monitoring and risk assessment studies. Biomonitoring studies are of critical importance for environmental management. According to the correlation calculations between soil and plants (Table 3), the soil Zn exhibits a high correlation coefficient (>1) with plant Zn and Ni. At the same time, a significant correlation (>1) is found between sthr soil Cu and plant Fe. In addition, a strong positive correlation (> 0.993, > 0.993, > 0.997, > 0.997) is observed between soil Zn and plant Fe, soil Cu and plant Ni, and soil Cr and plant Cu and Cr. The correlation relationships between soil and plant can be utilized in environmental pollution and biomonitoring studies.

Table 3. The Correlation Relationship of Mineral Nutrients Between Soil and Plant

	Elements				
Soil	**Plant**				
	Zn	**Ni**	**Cu**	**Cr**	**Fe**
Zn	1**	1**	0.982	0.982	0.993*
Ni	0.993	0.993	0.953	0.953	0.973
Cu	0.993	0.993*	0.953	0.953	1**
Cr	0.993	0.993	0.997*	0.997*	0.973
Fe	0.993	0.993	0.953	0.953	0.993

** Correlation is significant at level of 0.01 (2-tailed), * Correlation is significant at level of 0.05 (2-tailed)

4. Conclusion

It was observed that Zn, Ni, and Fe element concentrations in plant samples were within the optimal range, while Cu and Cr element concentrations exceeded the optimal levels.

In soil samples, Zn, Ni, Cr, and Fe element concentrations were found to be consistent with optimal values, whereas Cu element concentrations exceeded the optimal levels. *C. benedictus* grows in soils contaminated with Cu. However, its phytoremediation potential is low due to its low BCF value. Nevertheless, its biomonitoring potential is considerably high.

This study demonstrates the potential utility of the *C. benedictus* species in environmental monitoring and risk assessment studies. However, the biomonitoring potential of this plant species requires further investigation for precise determination. Therefore:

- Detailed studies should be conducted on the other micro and macro nutrient element contents of the *C. benedictus* species.
- The physiological and morphological changes exhibited by the *C. benedictus* species in response to various pollutants should be investigated.
- The biomonitoring potential of the *C. benedictus* species should be tested under diverse environmental conditions.
- Standardized protocols for the utilization of the *C. benedictus* species in environmental monitoring studies could be developed.
- More detailed studies on soil structure and properties should be conducted.
- Further research is necessary to monitor plant physiology and growth parameters inrelation to soil properties and nutrient levels during the vegetation period of this plant.

These detailed monitoring studies will enable a deeper understanding of the factors contributing to the plant's low BCF value and allow for a more accurate evaluation of its phytoremediation potential.

References

Ahmadimoghaddam, D., Sadeghian, R., Ranjbar, A., et al (2020). Antinociceptive activity of *Cnicus benedictus* L. leaf extract: A mechanistic evaluation. *Res Pharm Sci*, 15(5), 463–472. DOI: https://doi.org/10.4103/1735-5362.297849

Al-Snafi, A. E. (2016). The constituents and pharmacology of *Cnicus benedictus*—A review. *The Pharmaceutical and Chemical Journal*, 3(2), 129–135.

Alhadrami, H. A., Sayed, A. M., Hassan, H. M., et al (2021). Cnicin as an anti-SARS-CoV-2: An integrated in silico and in vitro approach for the rapid identification of potential COVID-19 therapeutics. *Antibiotics*, 10(5), 542. DOI: https://doi.org/10.3390/antibiotics10050542

Atacan Doğan, E., Akpınar, A. (2023). Bir Meloidae Gizemi: Kantharidin Salgısı ve Etkileri, A. Atakan, M. Ö. Koyuncu. *Yaşam ve Doğa Bilimlerinde Güncel Yaklaşımlar* (352 s.). Gazi: Gaziantep Üniversitesi Yayınevi.

Barker, A. V., Pilbeam, D. J. (2007). *Handbook of Plant Nutrition*. U.S.: CRC Press.

Blum, W., Horak, O., Mentler, A., Puschenreiter, M. (2014). Trace elements, Editör A. Sabljic. *Environmental and Ecological Chemistry* (ss. Belirtilmemiş). Paris: EOLSS, UNESCO.

Can, Z., Baltaş, N., Keskin, Ş., et al (2017). Properties of antioxidant and anti-inflammatory activity and phenolic profiles of Şevketi Bostan (*Cnicus benedictus* L.). *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 5(4), 308–314. DOI: https://doi.org/10.24925/turjaf.v5i4.308-314.1054

Davis, P. H. (1975). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*. Vol. 5. Edinburgh: Edinburgh University Press.

Ghiasy-Oskoee, M., Hatterman-Valenti, H., Monono, E., AghaAlikhani, M. (2020). Blessed thistle on North Dakota marginal lands: Agronomic productivity and biodiesel potential. *Ecological Engineering*, 155, 105908. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105908

Ghosh, M., Singh, S. P. (2005). Comparative uptake and phytoextraction study of soil-induced chromium. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(2), 67–79.

Hayit, F. (2023). Şevketi Bostan'nın kimyasal özellikleri ve değerlendirilmesi, Editör F. Hayit. *Gıda Bilimi ve Gastronomi* (142–160). Ankara: Yayıncı Belirtilmemiş.

Horn, G., Kupfer, A., Rademacher, A., et al (2015). *Cnicus benedictus* as a potential low input oil crop. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 117(4), 561–566. DOI: https://doi.org/10.1002/ejlt.201400158

Jones, C., Jacobsen, J. (2005). Plant nutrition and soil fertility. *Nutrient Management Module*, 2(11), 1–11.

Kabata-Pendias, A. (2001). Trace metals in soils—A current issue in Poland. *Acta Universitatis Wratislaviensis Prace Botaniczne*, 79, 13–20.

Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (2001). *Trace Metals in Soils and Plants*. Boca Raton: CRC Press.

Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A. B. (2007). Trace elements of Group 12, Editör A. B. Mukherjee. *Trace Elements from Soil to Human* (ss. Belirtilmemiş). Berlin: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-32714-1_19

Kacar, B., Katkat, V. A. (2010). *Bitki Besleme*. 5th ed. Ankara: Nobel Yayın No: 849.

Matei, P. L., Busuioc, C., Ionescu, N., et al (2021). *Cnicus benedictus* oil as a raw material for biodiesel. *Sustainability*, 13(23), 13193. DOI: https://doi.org/10.3390/su132313193

Mocek-Płóciniak, A., Mencel, J., Zakrzewski, W., et al (2023). Phytoremediation as an effective remedy for removing trace elements. *Plants*, 12(8), 1653. DOI: https://doi.org/10.3390/plants12081653

Naz, R., Khan, M. S., Hafeez, A., Fazil, M., Khan, M. N., Ali, B., et al (2024). Assessment of phytoremediation potential of native plant species naturally growing in a heavy metal-polluted industrial soils. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e264473. DOI: https://doi.org/10.1590/1519-6984.264473

Rashidi, A., Eskin, B., Demir, A. (2024). Heavy metals and trace element contents in *Veronica grisebachii*. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*, 5(2), 182–187. DOI: https://doi.org/10.51753/flsrt.1441355

Rezig, K., Benkaci-Ali, F., Foucaunier, M. L., et al (2024). Characterization of phenolic compounds from Cnicus benedictus roots. *Chem Biodivers*, 21(1), e202300724. DOI: https://doi.org/10.1002/cbdv.202300724

Szabó, I., Pallag, A., Blidar, C. F. (2009). The antimicrobial activity of *Cnicus benedictus* extracts. *Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Biologie*, 16(1), 126–128.

Şenkardeş, İ., Bulut, G., Doğan, A., Tuzlacı, E. (2019). Wild edible plants of Turkish Asteraceae taxa. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 84(1), 17–28.

Tiwana, G., Fua, J., Lu, L., et al (2021). Review of traditional uses, medicinal properties and phytochemistry of *Centaurea benedicta*. *Pharmacognosy Journal*, 13(3), 798–812. DOI: https://doi.org/10.5530/pj.2021.13.102

Tuzlacı, E. (2011). *Türkiye'nin Yabani Besin Bitkileri ve Ot Yemekleri*. İstanbul: Alfa.

Yasin, Y. S., Ibrahem, E. J. (2017). Antibacterial activity of ethanolic root extract of *Cnicus benedictus*. *Cihan University-Erbil Scientific Journal*, (Özel Sayı), 298–310. DOI: https://doi.org/10.24086/cuesj.si.2017.n2a27

Yasin, Y. S., Hussian, S. M., Rahem, S. M. (2018). Antibacterial activity of ethanolic leaf extract of *Cnicus benedictus*. *Al Mustansiriyah Journal of Pharmaceutical Sciences*, 17(1), 9. DOI: https://doi.org/10.32947/ajps.v17i1.53

INVESTIGATION OF HEAVY METAL ACCUMULATION IN *SAMBUCUS EBULUS* L. AND THE CORRELATION BETWEEN SOIL AND PLANT: A CASE STUDY OF KARTEPE AND KÖRFEZ, KOCAELI, TÜRKIYE

Aynur DEMİR[1], Onur ALTINBAŞAK[2], Betül BÜYÜKKILIÇ ALTINBAŞAK[3], Onur ESEN[4], Adeleh RASHIDI[5]

[1]Department of Urbanization and Environmental Problems, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Aksaray University, Aksaray, Türkiye,

Orcid: 0000-0002-7856-2789

[2]Department of Pharmacy Services, European Vocational School, Kocaeli Health and Technology University, Kocaeli, 41275, Türkiye,

Orcid: 0000-0002-7167-7663

[3]Department of Pharmacognosy, Faculty of Pharmacy, Kocaeli Health and Technology University, Kocaeli, 41275, Türkiye, Orcid: 0000-0002-9250-776X

[4]Department of Basic Pharmacy Sciences, Faculty of Pharmacy, Pharmaceutical Botany, Biruni University, Istanbul, Türkiye,

Orcid: 0000-0001-8754-0293

[5]Department of Environmental Engineering, Engineering Faculty, Hacettepe University, Ankara, Türkiye

Orcid: 0000-0002-4831-7539

Abstract

This research investigates the capacity of *Sambucus ebulus* L. to accumulate heavy metals and examines the correlative relationship between soil and plant metal concentrations in the industrial districts of Kartepe and Körfez, Kocaeli, Türkiye. Soil and plant samples were analyzed for concentrations of Zinc (Zn), Copper (Cu), Nickel (Ni), and Chromium (Cr). The Bioconcentration Factor (BCF) was calculated to assess metal uptake efficiency, and Pearson correlation analysis was used to determine relationships between metal levels in soil and plant tissues. The results indicated that heavy metal concentrations in both soil and plants were generally within optimal ranges. *S. ebulus* demonstrated a significant capacity for Zn accumulation, with BCF values near unity (0.951 in Kartepe; 1.02 in Körfez), suggesting its potential as a bioindicator for Zn. Conversely, the translocation of Cr from soil to the plant was exceptionally low (BCF<0.01), highlighting the species' strong potential for phytostabilization of Cr. Correlation analyses revealed statistically significant positive relationships, notably between soil Zn and plant Zn in the Kartepe region ($r = 0.999$, $p < 0.01$). Furthermore, significant correlations between different metals, such as soil Cu and plant Zn, imply that synergistic interactions and shared transport mechanisms may influence metal uptake. In

conclusion, *S. ebulus* emerges as a promising candidate for phytoremediation strategies, specifically for the bioindication of Zn and phytostabilization of Cr in low to moderately contaminated environments. Further research is recommended to analyze metal partitioning in different plant organs and to evaluate the influence of varying edaphic factors on uptake dynamics.

Keywords: Bioindication, heavy metals, phytoremediation, phytostabilization, *Sambucus ebulus* L.

1. Introduction

S. ebulus, commonly known as dwarf elder, is a member of the Viburnaceae family within the order Dipsacales. The family comprises three genera: *Viburnum* L., *Sambucus* L., and *Adoxa* L. among them, *Viburnum* is the most species-rich with 196 accepted taxa, followed by *Sambucus* with 23 species, and *Adoxa* with only 4 species (Waswa et al., 2022). The *Sambucus* genus has a broad distribution across temperate regions of the world, with the exception of extreme cold and arid zones (Šiško et al., 2019). In the flora of Turkey, two species of this genus are naturally recorded: *S. ebulus* and *Sambucus nigra* L. (Davis, 1970; Güner et al., 2012). *S. ebulus* (Figure 1) is a perennial herbaceous plant characterized by a creeping, malodorous rhizome and can reach heights of 0.5–2 meters. Its compound leaves typically consist of 3–6 pairs of leaflets that vary in shape from lanceolate to elliptical. The inflorescence is an umbel-like corymb, usually with three primary rays, bearing white or slightly pink flowers approximately 5 mm in diameter, with purple anthers. The fruit is a spherical drupe about 6 mm in diameter and turns black when mature (Davis, 1970).

Fig 1. *Sambucus ebulus*

This species exhibits broad ecological tolerance and commonly grows near urban settlements, roadsides, railways, thickets, forest margins, and high-altitude areas. It is frequently found in moist grasslands or forest edges in both Iran and Turkey (Kaya et al. 2019). *S. ebulus* thrives in a wide range of soil types, from sandy to loamy textures, and prefers partial shade or direct sunlight. Although tolerant to environmental pollution and strong winds, it is sensitive to saline coastal conditions. Phytochemically, *S. ebulus* is rich in biologically active compounds such as flavonoids, steroids, caffeic acid derivatives, glycosides, cardiac glycosides, tannins, ebulitins, ebulin I, and volatile substances

(Shokrzadeh and Saravi 2010). Due to this composition, it has also been widely used in traditional medicine. In recent years, growing concerns over environmental contamination especially heavy metal pollution have highlighted the importance of assessing the phytoremediation potential of tolerant plant species. With its proven resistance to stress and ability to accumulate certain metals, S. ebulus has emerged as a promising candidate for ecological monitoring and phytoremediation applications. This study aims to evaluate the accumulation potential of *S. ebulus* for selected heavy metals (Zn, Cu, Ni, Cr) in two distinct locations in northwestern Turkey (Kartepe and Körfez), investigate soil-plant correlations, and discuss the species' potential as a bioindicator in low to moderate contamination scenarios.

2. Materials and Methods

2.1. Research area

The province of Kocaeli is situated in the eastern Marmara region of Northwest Turkey. It includes the coastal city of İzmit and occupies a crucial transitional location between Asia and Europe. The economy of the province is primarily industrial. Kocaeli is characterized by two distinct climate types, with an average annual temperature of 14.8°C and a mean annual rainfall of 671.7 mm. (Kizilarslan and Özhatay, 2012). Kartepe is situated between the Köseköy settlement, Sapanca Lake, Sakarya, Mt. Kartepe, and İzmit. The southern part of the district consists of the Samanlı Mountains. Its climate is a unique steppe and temperate type, influenced by the Sea of Marmara and the western Black Sea. The annual average temperature is 13.2°C, and rainfall, while present in all seasons, is most intense in winter and spring (Yazgi and Emre, 2024). Körfez is situated north of İzmit Bay, bordered by Derince to the east, Gebze to the west, and the province of Istanbul to the north, with İzmit Bay to the South (Yıldız, 2016). Körfez is a growing district in Kocaeli, selected for study due to significant industrial activity and population growth since the 1950s, leading to notable changes in land use. The plant samples collected within the scope of this study were gathered from the regions of Körfez and Kartepe districts. The map of the materials collected from the region is shown in Figure 2.

Fig 2. The map of locations where the samples were collected

2.2. Collection and Preparation of Plant and Soil Samples

Firstly, the herb and root of the *S. ebulus* were collected from the field during the flowering period. The plant samples were collected from different areas. Their locations are shown in Table 1. For the analysis, soil samples were collected from three different points within each sampling site (Kartepe and Körfez), using a stainless steel trowel at a depth of approximately 15 cm. From each point, approximately 500 grams of soil were obtained. The samples were first air-dried at room temperature and then oven-dried at around 40°C. Dried soils were ground in a mortar to break up aggregates, and coarse materials such as stones, roots, and other foreign debris were manually removed. Subsequently, the soil was sieved through a 2 mm mesh, transferred into clean containers, labeled, and stored until analysis. For elemental analysis, subsamples weighing less than 2 grams were further sieved through a 0.25 mm mesh. To establish the working standards for CNS (carbon, nitrogen, and sulfur) analysis, reference values included 0.04–50 mg of nitrogen, 0.02–175 mg of carbon, and 0.01–20 mg of sulfur.

Table 1. Location information of plant and soil sample

Location of Kartepe	**Location**	**Collection time**
1	40°37'15.4"N 30°04'28.4"E	10.07.2024
2	40°38'19.8"N 30°03'13.5"E	10.07.2024
3	40°38'45.7"N 30°03'10.5"E	10.07.2024
Location of Körfez		
4	40°52'44.2"N 29°47'36.8"E	11.07.2024
5	40°54'19.7"N 29°47'32.0"E	11.07.2024
6	40°57'23.8"N 29°45'31.3"E	11.07.2024

2.3. Analysis of Heavy Metals

Elemental analyses were performed using an inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS; Thermo Scientific X-Series II), equipped with a Thermo Scientific D100 automated diluter and a Cetac ASX-260 autosampler. All samples were diluted with 5% nitric acid prepared using ultrapure water. Calibration curves were constructed using the QCS-27 series multi-element standard solution (High Purity Standards), which includes five elements. Calibration was conducted based on the expected elemental concentrations in the samples, and only curves with a correlation coefficient (R^2) greater than 0.99 were accepted. For all parameter analyses, the primary run number was set to 3, with sampling and wash times fixed at 60 seconds. Blank readings and calibrations were repeated after every 40 measurements to ensure analytical accuracy. Additionally, total carbon (C), nitrogen (N), and sulfur (S) contents were determined using the TruSpec Micro elemental analyzer (LECO Corporation). The instrument combines a flow-through carrier gas system with separate, highly selective infrared (IR) and thermal conductivity detectors for rapid and efficient CNS analysis. Micro-samples of soil or plant material were weighed and placed into the autosampler, then automatically combusted in high-temperature furnaces—950°C for C and N, and 1350°C for S—to complete the analysis."**

2.4. Statistical Analyses

Statistical analyses included multivariate analysis of variance (MANOVA), followed by Tukey's HSD test for multiple comparisons and Pearson correlation analysis. These were conducted using IBM SPSS Statistics (v 20). Significance thresholds were set at *$P < 0.05$ and $P < 0.01$ (two-tailed).

2.5. The Bioconcentration Factor (BCF)

The Bioaccumulation Factor (BAF) is a quantitative indicator that reflects the extent to which a plant absorbs heavy metals from the soil in which it grows. It is calculated as the ratio of the metal concentration in plant tissues to that in the corresponding soil sample. A

BAF value greater than 1 indicates that the plant effectively uptakes and accumulates the metal from the soil, suggesting its potential suitability as a candidate species for phytoremediation applications." (Ghosh and Singh 2005).

BCF = metal concentration in the plant tissue/metal concentration in the soil

3. Results and Discussion

This study includes heavy metal analyses conducted on soil and *S. ebulus* samples collected from the Kartepe and Körfez regions of Kocaeli Province. The analysis results show that the detected levels of Zn (Zinc), Ni (Nickel), Cu (Copper), and Cr (Chromium) elements in the soil and plant samples are largely consistent with optimal values. (Table 2). However, the concentration of Ni (9.25 mg/kg) in soil samples collected from Kartepe was found to be close to the lower limit of the optimal range. This suggests that the region may naturally have a low Ni content. However, since the soil samples taken from both locations contain these elements at optimal levels, it can be said that these soils have not been exposed to pollution from these metals. Similarly, the metal ratios in the plants from both regions are also within optimal values. The uptake of Zn and Ni by the plants is higher in Kartepe compared to Körfez. Cu levels in the plants are close to the lower limit at both locations. The Cr concentration in this plant species has been found to be at very low levels. This situation indicates that Cr is difficult for the plant to uptake and largely remains fixed in the soil. The literature reports that the trivalent form of Cr (Cr^{3+}) is strongly bound to soil particles, resulting in extremely low bioavailability for plants (Ghosh and Singh, 2005) . This finding suggests that *S. ebulus* may be a valuable candidate for phytostabilization. When evaluating both locations in terms of BCF, the BCF value for Zn at the Kartepe location is 0.951, while at the Körfez location, it is 1.02. Since these values are around 1 or close to 1, it indicates that *S. ebulus* can uptake Zn from the soil. However, the plant accumulation is controlled and remains below the toxic threshold. However, since the BCF for Cu, Ni, and Cr is lower, the uptake of these metals remains more limited. In this case, it suggests that *Sambucus* sp. could be used as a supportive species for bioremediation by balancing the uptake of essential metals like Zn, especially in lightly contaminated areas.

Table 2. Average Analysis of Heavy Metals in Soils and Plants for Location of Kartepe

Elements	Kartepe	Körfez	Kartepe Optimum Value		Körfez	Optimum Value*	BCF (Kartepe)	BCF (Körfez)
	mg/Kg		mg/Kg		mg/Kg	mg/Kg		
	Soil	Soil	Soil	Plant	Plant	Plant		
Zn	33.9	21.04	10-300	32.2	21.54	20-150	0.951	1.02
Ni	9.25	17.53	10-50	1.62	0.97	0.1-5	0.175	0.055
Cu	9.15	10.06	5-30	5.36	5.6	5-30	0.585	0.556
Cr	16.1	12	5-120	0.101	0.1	0.1-0.5	0.006	0.008

* References for optimum values in soil and plant (Barker and Pilbeam, 2015; Ghosh and Singh, 2005; Horak et al,. 2009; Jones and Jacobsen 2005; Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007; Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Kacar and Katkat, 2010)

The correlation analyses between soil and plants have provided important insights into the transport and interactions of metals. In the Kartepe samples (Table 3), a very strong and significant correlation ($r = 0.999$, $p < 0.01$) was found between the Zn concentrations in soil and plants. This means that an increase in Zn in the soil directly leads to an increase in the plant as well. Additionally, strong positive correlations were found between soil Ni and plant Cr ($r = 1.000$, $p < 0.01$) as well as between soil Ni and plant Cu ($r = 0.997$, $p < 0.05$). This situation suggests that some metals are taken up by the plant through common transport mechanisms, and there may be synergistic effects in metal uptake (Shanker et al. 2005). In addition, it can be stated that soil Cu and soil Cr show low to moderate positive correlations with the plant metals.

Table 3. Correlation Analysis Between Heavy Metals in Soils and Plants for Location of Kartepe

Heavy Metals (mg/Kg)	Zn Plant	Ni Plant	Cu Plant	Cr Plant
Zn Soil	0.999**	0.845	0.363	0.296
Ni Soil	0.315	0.764	0.997*	1**
Cu Soil	0.635	0.945	0.954	0.931
Cr Soil	0.688	0.209	0.411	0.475

* Correlation is significant at level of 0.05 (2-tailed)

** Correlation is significant at level of 0.01

In the Körfez location (Table 4), significant positive correlations were observed between soil Cu and plant Zn ($r = 0.998$, $p < 0.01$) as well as between soil Cu and plant Cr ($r = 0.981$, $p < 0.05$). It is thought that the increase in soil Cu may be related to the increase in plant Zn and Cr. Additionally, the relationships between soil Ni and plant Ni ($r = 0.986$, $p < 0.05$) as well as between soil Ni and plant Cr ($r = 0.905$, $p < 0.05$) also parallel the findings from Kartepe. These results indicate that Cu and Ni may influence the uptake of different metals in plants and that there is an interactive transport process among the metals (DalCorso et al. 2008) In contrast, low or moderate correlations were found between the levels of Zn and Cr in the soil and their corresponding levels in the plants in the Körfez samples. It is thought that the amounts of these metals in the soil in the Körfez region do not directly affect the metal levels in the plants. This situation indicates that it is not the total metal concentration, but rather the bioavailable form of the metal that determines plant uptake (Shen et al. 2022). Soil factors such as pH, organic matter content, and texture can directly affect this bioavailability. As a result, Sambucus sp. can effectively uptake essential metals such as Zn in a controlled manner. Additionally, its ability to limit the accumulation of toxic metals like Cr highlights this species as a prominent candidate for phytoremediation. This species, which has medicinal uses, has

significant potential for ensuring environmental protection and controlling heavy metal accumulation, especially in areas with low levels of contamination.

Table 4. Correlation Analysis Between Heavy Metals in Soils and Plants for Körfez

Heavy Metals (mg/Kg)	Zn Plant	Ni Plant	Cu Plant	Cr Plant
Zn Soil	0.233	0.612	0609	0.373
Ni Soil	0.835	0.986*	0.936	0.905*
Cu Soil	0.998**	0.891	0.664	0.981*
Cr Soil	0.428	0.757	0.437	0.552

* Correlation is significant at level of 0.05 (2-tailed)

** Correlation is significant at level of 0.01

4. Conclusion

The findings of this study demonstrate that *S. ebulus* possesses a notable accumulation capacity for essential trace elements such as zinc (Zn) and copper (Cu). In contrast, the uptake of chromium (Cr), a toxic heavy metal, was found to be minimal, suggesting the potential of this species for phytostabilization strategies. Particularly, higher Zn accumulation levels observed in the Kartepe region indicate that edaphic factors in this location may enhance the bioavailability of certain metals. The soil–plant correlation analysis revealed strong positive relationships between some metal concentrations, implying that shared transport mechanisms and synergistic interactions may influence metal uptake in *S. ebulus.* These results suggest that this species may serve as a potential bioindicator for specific metal pollutants under certain environmental conditions. However, in order to fully elucidate the phytoremediation potential of *S. ebulus*, further research is required. Future studies should focus on analyzing the metal distribution across different plant organs (roots, stems, leaves, and fruits) to determine compartment-specific accumulation patterns. Moreover, the scope of the research should be expanded to include a wider range of ecological and pedological conditions, thereby enabling a comprehensive assessment of how factors such as soil pH, organic matter content, and cation exchange capacity influence metal uptake dynamics. As a result, a comparative analysis with other potential phytoremediation species is essential to determine the relative efficiency and applicability of *S. ebulus* within various phytoremediation frameworks.

References

Barker, A. V., Pilbeam, D. J. (2015). *Handbook of Plant Nutrition*. Boca Raton London New York Washington DC: CRC Press.

DalCorso, G., Farinati, S., Maistri, S., Furini, A. (2008). How plants cope with cadmium: Staking all on metabolism and gene expression. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(10), 1268–1280. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2008.00737.x

Davis, P. H. (1970). *Flora of Turkey and the East Aegean Islands Vol. 4*. Edinburgh: Edinburgh University Press.

Ghosh, M., Singh, S. P. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products'. *As. Journal of Energy Environment*, 6(4), 214–231. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/0301_001018

Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M., Babaç, M. (2012). *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*. İstanbul: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği.

Horak, O., Mentler, A., Puschenreiter, M., Blum, W. (2009). Environmental and ecological chemistry-vol. ii-trace elements. *Trace Elements*, 2, 156–164.

Jones, C., Jacobsen, J. (2005). Plant nutrition and soil fertility. *Nutrient Management Module No. 2*, 2(11), 1-11.

Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants Third Edition*. Boca Raton London New York Washington DC: CRC Press.

Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A. B. (2007). Chapter ii-12, Editör A. B. Mukherjee. *Trace Elements from Soil to Human*. Berlin, Heidelberg.

Kacar, B., Katkat, V. A. (2010). *Bitki Besleme*. 5th ed. İstanbul: Nobel Yayın.

Kaya, Y., Haji, E. K., Arvas, Y. E., Aksoy, H. M. (2019). *Sambucus ebulus* L.: Past, present and future. *AIP Conference Proceedings*, 2155(1), 020030. DOI: https://doi.org/10.1063/1.5125534

Kizilarslan, Ç., Özhatay, N. (2012). Wild plants used as medicinal purpose in the south part of İzmit (Northwest Turkey). *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*, 9(2), 199-218.

Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., Avudainayagam, S. (2005). Chromium toxicity in plants. *Environment International*, 31(5), 739-753. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.02.003.

Shokrzadeh, M., Saravi, S. S. (2010). The chemistry, pharmacology and clinical properties of *Sambucus ebulus*: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(2), 95-103. DOI: https://doi.org/10.5897/JMPR09.026

Šiško, M., Ivanuš, A., Ivančič, A. (2019). Determination of Sambucus interspecific hybrid structure using molecular markers. *Agricultura Scientia*, 16(1-2), 1-10. DOI: https://doi.org/10.18690/agricultura.16.1-2.1-10.2019

Shen, X., Dai, M., Yang, J., Sun, L., Tan, X., Peng, C., Naz, I. (2022). A critical review on the phytoremediation of heavy metals from environment: Performance and challenges. *Chemosphere*, 291, 132979. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132979

Waswa, E. N., Mutinda, E. S., Mkala, E. M., Katumo, DM., Oulo, M. A., Odago, W. O., Hu, G. W. (2022). Understanding the taxonomic complexes and species delimitation within *Sambucus* L. (Viburnaceae). *Diversity*, 14(11), 906. DOI: https://doi.org/10.3390/d14110906

Yazgi, Y. Y., Emre, G. (2024). Folk medicinal plants of Kartepe (Kocaeli-Türkiye). *Journal of Research in Pharmacy*, 28(6), 2046-2056. DOI: https://doi.org/10.29228/jrp.880

Yıldız, S. (2016). *Körfez İlçesi'nde (Kocaeli) Arazi Örtüsü Değişimlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Ile Analizi (1987-2015)*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü: Sakarya.

ORMAN ALT BÖLGELERINDE TOPRAK VE VEJETASYON ÖZELLIKLERININ NEMATOD BIYOÇEŞITLILIĞI ÜZERINE ETKILERI

Ekrem ASLAN[1], İbrahim Halil ELEKCİOĞLU[2]

[1]Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-8829-7301

[2] Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, bitki Koruma bölümü, Adana, Türkiye, Orcid: 0000-0002-1707-7392

Özet

Bu çalışma, orman ekosistemlerinde nematod biyoçeşitliliğinin toprak ve bitki özellikleri ile ilişkisini ortaya koymak amacıyla, farklı topoğrafik ve edafik özellikler gösteren altı alt bölgede yürütülmüştür. Araştırma alanları; Sarıçam, Çukurova, Salbaş, Varda, Bürücek ve Pozantı alt bölgelerini kapsamakta olup, söz konusu alanlar yükselti, toprak özellikleri ve vejetasyon yapısı bakımından belirgin heterojenlik göstermektedir. Çalışma kapsamında her alt bölgede 0–30 cm ve 30–60 cm toprak derinliklerinden örnekler alınmış, nematodlar laboratuvar koşullarında ekstrakte edilerek cins düzeyinde tanımlanmış ve trofik gruplara ayrılmıştır. Ayrıca toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri (pH, organik madde, tekstür, kireç ve besin elementleri) analiz edilerek nematod topluluk yapısı ile ilişkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, nematod topluluklarının çeşitlilik ve yoğunluk bakımından alt bölgeler arasında anlamlı farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Bakterivor nematodlar en yüksek çeşitliliğe sahip trofik grup olarak belirlenirken, predatör ve omnivor grupların daha düşük çeşitlilikte temsil edildiği saptanmıştır. Tüm çalışma alanlarında toprakların alkali karakterde olduğu belirlenmiş olup, organik madde içeriği ve toprak tekstürünün nematod topluluk yapısı üzerinde belirleyici olduğu tespit edilmiştir. Özellikle organik maddece zengin ve tınlı yapıya sahip topraklarda nematod çeşitliliği ve yoğunluğunun arttığı, buna karşılık yüksek kum oranına sahip ve organik madde bakımından fakir topraklarda nematod topluluklarının sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Toprak derinliğinin etkisi incelendiğinde, tüm alt bölgelerde nematod yoğunluğunun üst toprak katmanında (0–30 cm) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bu durum, üst katmanın daha yüksek organik madde içeriği ve mikrobiyal aktiviteye sahip olması ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak, nematod biyoçeşitliliğinin başta organik madde ve toprak tekstürü olmak üzere edafik faktörler ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu ve nematodların toprak ekosistemlerinin fonksiyonel durumunun değerlendirilmesinde güvenilir biyogöstergeler olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Nematod biyoçeşitliliği, toprak özellikleri, edafik faktörler, toprak tekstürü, orman ekosistemi, trofik yapı.

AI-BASED DEFORESTATION DETECTION IN FOREST ECOSYSTEMS: A METHODOLOGICAL APPROACH

Anıl AZİZOĞLU[1], Erhan ÇALIŞKAN[2]

[1]Department of Engineering, Faculty of Forestry, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye, Orcid: 0009-0003-6377-058X

[2]Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Karadeniz Techinal University, Trabzon, Türkiye, Orcid: 0000-0002-1066-4922

Abstract

Deforestation is a critical global environmental issue leading to significant ecological consequences such as biodiversity loss, habitat fragmentation, reduced carbon sequestration capacity, and the degradation of ecosystem services. In particular, climate change, wildfires, unplanned land use, and anthropogenic interventions exert severe pressure on forest ecosystems. Therefore, monitoring forest loss in a rapid, accurate, and sustainable manner is of paramount importance for ecological planning and natural resource management.

In this study, an artificial intelligence-based methodological approach is proposed for the detection of deforested areas within forest ecosystems. The proposed method evaluates multi-temporal Sentinel-2 satellite imagery for large-scale monitoring alongside high-spatial-resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) orthomosaic images for detailed site analysis. Change detection analysis was performed using spectral indices such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Burn Ratio (NBR), and a U-Net-based deep learning model is proposed for the precise determination of loss areas.

It is anticipated that the proposed approach will classify various types of deforestation and land cover changes in forest ecosystems with high accuracy rates. This study demonstrates that deep learning-based remote sensing data serves as a strategic tool for monitoring forest health, managing risks, and digitalizing ecological sustainability strategies. Thus, an effective digital monitoring method is presented for the monitoring and conservation of forest losses.

Keywords: Deforestation, Artificial Intelligence, Deep Learning, Remote Sensing, Ecology, UAV

Introduction

Deforestation is a critical global issue that leads to severe environmental consequences, such as climate change, biodiversity loss, and ecosystem degradation (Jelas et al., 2024). In this context, artificial intelligence (AI) and remote sensing technologies offer significant potential for monitoring, detecting, and preventing deforestation (Haq et al., 2024; Hasan et al., 2024). Particularly, deep learning algorithms have pioneered the identification of changes in forest ecosystems by providing high accuracy and efficiency in analyzing large-scale geospatial data, such as satellite imagery and unmanned aerial vehicle (UAV) data (Ali et al., 2025; Manish et al., 2025). These innovative approaches can detect the spatial and temporal patterns of forest loss at high resolution using biotemporality analysis (Alshehri et al., 2024).

When trained primarily with satellite-derived imagery, such algorithms provide effective solutions for large-scale deforestation detection, thereby enabling early intervention opportunities (Khan & Kale, 2026). These approaches play a critical role in predicting future deforestation rates and initiating timely conservation efforts, particularly through architectures like Long Short-Term Memory (LSTM) networks that can process temporal datasets (Chen et al., 2023).

These techniques analyze spatial and temporal features derived from satellite imagery using various machine learning models, including Random Forest, Support Vector Machines (SVM), and Convolutional Neural Networks (CNN) (Rawarkar & Agrawal, 2024). For instance, while Convolutional Neural Networks are utilized for spatial feature extraction, Recurrent Neural Networks (RNN) capture the temporal patterns of forest dynamics, presenting next-generation models that integrate spatiotemporal analysis (Pokkuluri et al., 2025).

These integrated approaches achieve high accuracy rates in detecting forest cover changes, specifically utilizing data obtained from multispectral and hyperspectral imagery captured by satellites (Dhanalakshmi et al., 2025). In this regard, advanced AI models, such as Hierarchical Convolutional Neural Networks, hierarchically analyze satellite imagery and environmental data for deforestation risk assessment; they offer robust predictions covering macro and micro environmental changes through multi-scale feature extraction (Kaladevi et al., 2025).

Concurrently, these methods minimize storage and processing costs by utilizing high-performance computing resources via cloud-based platforms to enable the parallel processing of massive datasets (Kanga, 2023). In this context, time-series analyses derived from satellite imagery rapidly detect landscape degradations such as forest loss, wildfires, and droughts. Consequently, they establish reliable global forest-cover change datasets and form the foundation for continuous monitoring (Crowley & Cardille, 2020; Hamunyela et al., 2020; Pickens et al., 2025). Using algorithms like BFASTmonitor on the Google Earth Engine (GEE) platform, these analyses capture sub-annual changes across extensive regions, ensuring precise detections that account for seasonal variations and enabling the real-time tracking of deforestation dynamics (Decuyper et al., 2021; Hamunyela et al., 2020).

Literature Review

This section reviews existing academic studies on the application of AI and remote sensing techniques in deforestation detection, comprehensively addressing fundamental approaches, methodologies, and key findings. In particular, the superior performance of deep learning-based models in identifying deforestation patterns within complex datasets derived from satellite and UAV imagery, alongside their integration with time-series data, will be thoroughly examined (Kattenborn et al., 2021). This analysis will evaluate the sensitivity and capability of deep convolutional neural networks to learn spatiotemporal patterns for predicting deforestation in critical ecosystems such as the Amazon Basin (Ball et al., 2022).

The combination of remote sensing and machine learning has demonstrated remarkable success across diverse applications, including forest fire detection (Eker et al., 2023) and land cover classification (Efe & Algancı, 2022). Deep learning algorithms, specifically Convolutional Neural Networks (Hamedianfar et al., 2022), have driven substantial advancements in deforestation mapping due to their capability to automatically extract spatial features from complex datasets like satellite imagery (Aziz et al., 2024; de et al., 2020).

When combined with high-resolution remote sensing data, these algorithms achieve high accuracy rates in classifying areas affected by anthropogenic deforestation (Lee et al., 2020). In this regard, the analysis of multispectral and hyperspectral data extracted from satellite imagery—coupled with high-resolution images provided by satellites like Sentinel-2 and PRISMA—enables the precise identification of changes in forested landscapes (Akar et al., 2024). These advancements facilitate not only the detection of deforestation but also the prediction of its future trends, thereby enabling the development of proactive conservation strategies (Nguyen-Trong & Tran-Xuan, 2022). Within this framework, the integration of satellite-based remote sensing and AI plays a critical role in scientific discoveries and research concerning change detection in forest areas and real-time land monitoring (Gu & Zeng, 2023).

Specifically, sophisticated deep learning models like ResNet-50 help monitor forest loss in real-time and conserve natural resources by detecting even subtle modifications in satellite imagery (Bose et al., 2025). In this context, while models such as U-Net and ResNet-50 are reported to execute deforestation detection with high accuracy (Benvenuto et al., 2025), deep learning approaches supported by Sentinel-1 data achieve remarkable success in mapping deforestation, particularly within complex ecosystems like the Amazon (Guimarães et al., 2025). These integrated approaches have stimulated research into U-Net models with continuous learning capacities by fusing Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 MSI time-series to enhance the frequency and accuracy of wildfire progression mapping (Sengani et al., 2023). Such hybrid approaches offer promising solutions for the automated and effective monitoring of forest degradation, especially in regions rich in biodiversity and highly vulnerable to deforestation risk, such as the Brazilian Amazon (Jamshed et al., 2022; Matosak et al., 2022; Shashikala et al., 2025).

Accordingly, utilizing both high-resolution satellite imagery (Saavedra-Mera, 2024) and deep learning-based algorithms in deforestation detection studies optimizes the efficacy of monitoring and evaluation processes (Wagner et al., 2023). These methodologies incorporate the use of 1D Convolutional Neural Networks and hyperspectral data for the automated and precise mapping of deforestation, particularly across vast and dynamic

ecosystems like the Brazilian Amazon (Gupta et al., 2024). Within this scope, spatiotemporal deep convolutional neural networks—incorporating advanced approaches for handling image noise like clouds and shadows, as well as for training dataset construction—outperform traditional U-Net architectures with approximately 95% accuracy in mapping deforestation across the Amazon rainforest (Maretto et al., 2020). Such advancements enhance the potential of weakly supervised learning models by addressing the limited availability of reliable "ground truth" labels, which remains one of the greatest bottlenecks in large-scale, automated land use/land cover (LULC) mapping (Brandmeier & Chérif, 2021).

In this context, popular deep learning algorithms like U-Net have achieved high accuracy in LULC mapping by combining Synthetic Aperture Radar (SAR) and multispectral imagery (Solórzano et al., 2021); this maintains vital importance for environmental services and biodiversity, especially by sharpening the distinction between plantations and natural forests in tropical zones (Li et al., 2025). These multimodal approaches overcome the constraints of optical sensors in cloud-dense tropical regions. By utilizing transformer-based networks (e.g., SwinUNet) that leverage the fusion of Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 imagery, they substantially enhance deforestation detection capabilities, achieving prominent successes with F1-scores up to 92% (Ferrari, Ferreira, Almeida, et al., 2023; Ferrari, Ferreira, & Feitosa, 2023).

Methodology

This integration capitalizes on semantic segmentation techniques to monitor and understand forest cover dynamics within specific geographic areas, such as the Istanbul Regional Directorate of Forestry (Çankaya et al., 2025), or across tropical ecosystems (Kalinaki et al., 2023). In this framework, the analysis of multispectral data obtained from Sentinel-2 satellite imagery provides the capacity to track forest cover variations over time with over 90% accuracy in identifying forest types and densities (Hızal et al., 2024).

Furthermore, this methodology encompasses the generation and labeling of tailor-made datasets designed for deforestation detection; these datasets are compiled from satellite imagery representing diverse forest structures and degradation types (Kovačovič et al., 2025). These datasets facilitate the effective training of machine learning models to analyze and track deforestation events and forest health in real-time using high-resolution satellite images (Raihan, 2023). Consequently, architectures like U-Net models that are particularly responsive to temporal features can detect gradual modifications and abrupt clearcuts in forested zones with high precision (Isaienkov et al., 2020). These models offer effective solutions for the automated monitoring and tracking of forest degradation, primarily through the combination of optical and radar imagery sourced from distinct satellite sensors like Sentinel-1 and Sentinel-2 (Shumilo et al., 2021).

This multidisciplinary approach provides valuable insights not only for early deforestation warnings but also for targeting conservation initiatives and optimizing forest management strategies (Karaman et al., 2023). In this context, the deployment of methods like convolutional neural networks for detecting deforestation from satellite data stands out with accuracy rates reaching up to 91.87%, particularly in studies utilizing Sentinel-2 satellite data (Kanev et al., 2024; Prabu et al., 2024). This success

demonstrates that segmentation models like U-Net (Hisariya et al., 2024) and more advanced architectures like Nested U-Net (Khoshnevisan et al., 2025) exhibit high performance for forest cover detection and deforestation analysis. To overcome challenges such as the shortage of labeled data, the optimization of these models is supported by techniques like the Optuna algorithm (Tamasauskas et al., 2024), thereby enabling fine-tuning of model parameters and enhancing the accuracy of the outputs.

To circumvent challenges driven by environmental factors like cloud cover and missing data within datasets, this methodological framework integrates multi-temporal satellite data and tailored segmentation approaches, achieving prominent performance metrics such as 91.1% pixel accuracy and an 88.8% F1-score (Choi et al., 2024). In this respect, regional applications, such as the detection of forest changes in Hunan province, have achieved notable success in dynamic forest resource monitoring by employing Sentinel-2 satellite data and deep learning techniques (Xiang et al., 2023).

Furthermore, comparative analyses of CNN models such as U-Net++ and MA-Net against transformer-based models like SegFormer and Swin-UperNet for logging detection in satellite images have spurred major advancements in the automated interpretation of multi-temporal and multi-channel satellite imagery (Melnikov et al., 2024). Thanks to innovative approaches like Swin Transformer-based U-Net architectures, these developments have yielded impressive results in deforestation detection, securing an F1-score of 0.79 and an IoU value of 0.69 (Arya et al., 2023; Kishore et al., 2025). These breakthroughs have paved the way for a new generation of deep learning-based approaches for forest change detection in high-resolution satellite imagery, utilizing Vision Transformers (ViTs) with self-attention mechanisms that enhance the modeling of contextual and spatial relationships (Kaselimi et al., 2022; Kaur & Afaq, 2025).

Compared to conventional methods, these deep learning-based models automatically detect deforestation dynamics, generating substantial savings in labor, time, and material resources, while significantly mitigating the low efficiency and high false alarm rates characteristic of traditional approaches like raster arithmetic (Hasan et al., 2024; Jelas et al., 2024; Tarasov et al., 2021).

Results and Discussion

This section presents the experimental findings obtained from implementing the proposed methodology and evaluates the deforestation detection performance of deep learning-based models using metrics such as Precision, Recall, and F1-score (Sartor et al., 2024; Torres et al., 2021). Notably, semantic segmentation results generated by U-Net-based architectures using Sentinel-2 satellite imagery display high performance in delineating deforested zones accurately at the pixel level (Castro & Silva, 2025; Pimpalkar et al., 2025). The performance of these models is supported by high accuracy rates achieved during the training and validation phases, yielding consistent and reliable outcomes across evaluations based on metrics such as overall accuracy, precision, sensitivity (recall), and F1-score (Andrade et al., 2020; Carter et al., 2024). The capacity of these models to deliver high performance even with limited training data indicates that they can generate generalizable solutions in scenarios with sparsely labeled datasets, pointing to a

cost-effective and sustainable potential for forest management (Kılıç et al., 2024; Sani-Mohammed et al., 2022).

Studies indicate that U-Net-based convolutional neural networks secure significantly higher accuracy in detecting forest cover degradation compared to traditional raster arithmetic-based methods (Kanev et al., 2023; Tarasov et al., 2021). Moreover, the utilization of multi-temporal data has been observed to yield substantial enhancements in performance metrics—such as precision, recall, and F1-score—when contrasted with bi-temporal data frameworks (Neves et al., 2023). For example, a comparative analysis of deforestation detection in tropical forests demonstrated that transformer-based models can achieve accuracy rates exceeding 99% in pixel-level segmentation tasks, notably by exhibiting high recall rates at the expense of lower precision (Vega et al., 2024; Abbas et al., 2025). However, when composite metrics such as F1-scores are examined, even traditional CNN architectures like U-Net display a balanced performance, reaching rates up to 91.17% ("Proceedings of the 19th Conference on Computer Science and Intelligence Systems (FedCSIS)," 2024).

In this context, because the F1-score is the harmonic mean of both precision and recall values, it stands out as a more robust metric for evaluating the overall performance of object detection and segmentation models (Şandric et al., 2024). This metric comprehensively reflects the model's capacity to both correctly identify positive classes and avoid missing true positives, particularly in scenarios like deforestation detection where class imbalance is prevalent (Nurmasari & Wijayanto, 2021). Performance comparisons across various models indicate that architectures like Swin-UMamba achieve the highest F1-scores, reflecting consistent and superior segmentation accuracy (Souza et al., 2024). This underscores that the F1-score more precisely mirrors true model performance, especially under severe class imbalances (Ortega et al., 2019). Consequently, F1-score values are recognized as a critical benchmark for appraising the overall success of models engineered for deforestation detection (Onishi & Ise, 2021).

In this vein, models displaying high generalization capabilities in identifying distinct classes—with average F1-scores reaching up to 73% in recent studies (Mielczarek & Najman, 2024; Wu et al., 2023)—are noteworthy for their consistency across diverse forest types and calendar years (Schiefer et al., 2020). These elevated F1-score values provide a balanced equilibrium of precision and recall metrics (Manyothwane & Tsidu, 2025; Topçu & Güneş, 2023; Wen et al., 2024), effectively demonstrating how well deforestation detection models capture true positives and weed out false positives (Adamiak et al., 2025). Furthermore, while precision relates to the proportion of correctly detected tree crowns and the minimization of false positives, recall dictates how successfully the model detects all true trees, thereby revealing the rate of missed true positives (Pan et al., 2025; Zhao et al., 2023).

In this regard, composite metrics like the F1-score merge the model's capabilities to accurately identify true positives and minimize false positives, offering a more dependable performance indicator, particularly within imbalanced datasets (Bueso–Bello et al., 2025; Yang et al., 2023). The F1-score operates on a scale from 0 to 1; values approaching 1 signify superior model outcomes, whereas values below 0.5 point to minimal performance capacity (Gudelė & Visockienė, 2024). Especially in binary classification problems, these metrics measure the rate of successfully predicted positive

samples (recall) and the proportion of those predictions that are genuinely positive (precision), with the F1-score harmonizing these two values for a comprehensive assessment (Gao et al., 2024; Kösecioğlu et al., 2025; Tırmanoğlu et al., 2023).

However, because the F1-score ignores true negatives, the Matthews Correlation Coefficient (MCC)—which treats all confusion matrix elements in a balanced manner—emerges as a superior, more robust metric for evaluating model performance across extensive forest areas dominated by class imbalances (Couttenier et al., 2022; Davari et al., 2021; Sandum et al., 2025).

Within this scope, performance comparisons among distinct architectures (convolutional vs. transformer-based) expose the delicate trade-off between model complexity, computational overhead, and detection sensitivity (Ferrari et al., 2023). For instance, while U-Net-based models demonstrate an overall accuracy of 84% in burned area segmentation (Brand & Manandhar, 2021), hybrid self-attention U-Net models utilized in tree mortality detection significantly enhance the F1-score relative to the baseline U-Net, delivering more precise tree instance detection (Rahman et al., 2025). This demonstrates that the adaptation capacity of different architectures to specific forest ecosystem degradation types has a decisive impact on detection accuracy (Fiche et al., 2022). Furthermore, among deep learning models, architectures like YOLOv8 are reported to offer swift and effective intervention capabilities by displaying high accuracy and low false-positive rates in forest fire detection (Kösecioğlu et al., 2025).

Notably, the YOLOv8 model distinguishes itself via superior accuracy and rapid prediction capabilities in classification tasks, showing a decrease in error rates and an increase in accuracy across training and validation phases (Şengün et al., 2025; Shamta & Demir, 2024). Comparative analyses of these models reveal that hybrid deep learning architectures (e.g., CNNs integrated with transformer-based frameworks) offer higher accuracy and lower error rates in applications like tree counting (Bansal et al., 2025; Sertel & Topgül, 2025).

Considering their breakthrough achievements in natural language processing, transformer-based architectures offer substantial potential for capturing complex spatial and temporal patterns in remote sensing data, though they often demand highly balanced training datasets (Marinelli, 2022). This indicates that model performance can fluctuate depending on environmental factors such as forest conditions and canopy density, with these variances impacting the F1-score by 22% to 42% (Zhao et al., 2023). This emphasizes the critical need to evaluate the generalizability and robustness of current methodologies, particularly U-Net and transformer-based approaches, across heterogeneous environmental conditions (Kurasinski et al., 2023; Tanase et al., 2025).

In this context, boosting the performance of U-Net-based architectures (Estrada et al., 2023; Kurasinski et al., 2022) and transformer models via hyperparameter optimization holds the potential to yield robust results even when dealing with heterogeneous and noisy satellite imagery datasets (Shadrin et al., 2024). Concurrently, the elevated performance and low false-positive rates exhibited by YOLO-based architectures during near-instantaneous events, such as forest fires, play a critical role in engineering rapid response strategies (Casas et al., 2023). While the real-time monitoring capabilities of these models provide substantial advantages for the early detection of deforestation and

wildfires (Zhang & Aibin, 2024), comparative analyses of modern architectures like YOLOv5 and YOLOv8 highlight their suitability for distinct operational scenarios based on performance and inference speed (Casas et al., 2024; Yandouzi et al., 2023).

In this context, models like DETR and YOLOv4 display pronounced performance variations in single-tree detection tasks across different forest types (coniferous, mixed, and deciduous) and tree sizes; for instance, DETR yields a lower F1-score (83%) in small-crowned coniferous trees, whereas YOLOv4 struggles in dense, mixed forest stands (65%) (Borse et al., 2025; Dersch et al., 2022; Zhao et al., 2023).

Conclusion

This study comprehensively examines the potential of AI-based approaches, particularly deep learning and remote sensing techniques, in detecting deforestation and monitoring forest ecosystems. Future research aims to adapt these models to various ecosystem types, combine multiple sensor data, and dynamically analyze the impacts of climate change on deforestation.

References

1. Abbas, I., Damaševičius, R., Maskeliūnas, R., & Sarwar, M. A. (2025). Tree Segmentation from Low-Resolution Digital Orthophotos using a Hybrid Deep Learning Model. *Annals of Computer Science and Information Systems*, *45*, 1–8. https://doi.org/10.15439/2025f8182

2. Adamiak, M., Będkowski, K., Nalej, M., Ożadowicz, P., Pietruk, J., & Wójcik, S. (2025). Bi-temporal change detection for topographic map updates using panoptic segmentation of VNIR orthophotos and LiDAR data. *GeoInformatica*, *30*(1). https://doi.org/10.1007/s10707-025-00561-z

3. Akar, Ö., Saralıoğlu, E., Güngör, O., & Bayata, H. F. (2024). Semantic segmentation of very-high spatial resolution satellite images: A comparative analysis of 3D-CNN and traditional machine learning algorithms for automatic vineyard detection. *International Journal of Engineering and Geosciences*, *9*(1), 12–24. https://doi.org/10.26833/ijeg.1252298

4. Albamonte, G., Falcone, G., Monaco, M., & Senatore, S. (2025). Constructing a knowledge base from remote sensing indicators for deforestation assessment. *Applied Intelligence*, *55*(15). https://doi.org/10.1007/s10489-025-06896-2

5. Ali, G., Mijwil, M. M., Adamopoulos, I., & Ayad, J. (2025). Leveraging the Internet of Things, Remote Sensing, and Artificial Intelligence for Sustainable Forest Management. *Babylonian Journal of Internet of Things*, *2025*, 1–65. https://doi.org/10.58496/bjiot/2025/001

6. Alshehri, M., Ouadou, A., & Scott, G. J. (2024). Deep Transformer-Based Network Deforestation Detection in the Brazilian Amazon Using Sentinel-2 Imagery. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *21*, 1–5. https://doi.org/10.1109/lgrs.2024.3355104

7. Andrade, R. B. de, Costa, G. A. O. P. da, Mota, G. L. A., Ortega, M. X., Feitosa, R. Q., Vega, P. J. S., & Heipke, C. (2020). EVALUATION OF SEMANTIC SEGMENTATION METHODS FOR DEFORESTATION DETECTION IN THE

AMAZON. ˜*The œinternational Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1497–1505. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xliii-b3-2020-1497-2020

8. Arya, S., Moorthi, S. M., & Dhar, D. (2023). CVPR MultiEarth 2023 Deforestation Estimation Challenge:SpaceVision4Amazon. *arXiv (Cornell University)*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2307.04715

9. Azad, R., Aghdam, E. K., Rauland, A., Jia, Y., Avval, A. H., Bozorgpour, A., Karimijafarbigloo, S., Cohen, J., Adeli, E., & Merhof, D. (2024). Medical Image Segmentation Review: The Success of U-Net [Review of *Medical Image Segmentation Review: The Success of U-Net*]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *46*(12), 10076–10095. IEEE Computer Society. https://doi.org/10.1109/tpami.2024.3435571

10. Aziz, G., Minallah, N., Saeed, A., Frnda, J., & Khan, W. (2024). Remote sensing based forest cover classification using machine learning. *Scientific Reports*, *14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-50863-1

11. Ball, J., Petrova, K., Coomes, D. A., & Flaxman, S. (2022). Using deep convolutional neural networks to forecast spatial patterns of Amazonian deforestation. *Methods in Ecology and Evolution*, *13*(11), 2622–2634. https://doi.org/10.1111/2041-210x.13953

12. Bansal, H., Sinha, A., Agarwal, G. S., Mishra, S. K., Gupta, S., Chaudhary, P., Ashokrao, P. R., Kushwaha, A., Bagaria, M. K., Reza, Md. S., Agrawal, A., Bhad, S., Khalid, S., Lasisi, A., & Aseere, A. M. (2025). A Hybrid DL with Battle Royal Optimisation Algorithm for Accurate Tree Counting Using Satellite Images. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, *18*(1). https://doi.org/10.1007/s44196-025-00928-y

13. Benvenuto, G. A., Casaca, W., Negri, R. G., & Colnago, M. (2025). *Assessing the Performance of Deep Learning Networks for Real-Time Deforestation Segmentation in the Amazon and Atlantic Biomes*. 227–238. https://doi.org/10.5753/semish.2025.8270

14. Bhattacharjee, A., Samanta, S., Bhattacharya, J., & Singh, M. K. (2024). GreenShield: CNN-Based Real-Time Forest Monitoring and Response. *arXiv (Cornell University)*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2406.16917

15. Bhyrapuneni, S., Ch, A., Rao, K. S., Luther, P. A., Sriranjani, K., & Rao, S. R. (2025). *Remote Forest Monitoring Using AI for Deforestation Control*. 1–5. https://doi.org/10.1109/aisp68263.2025.11396125

16. Borse, K. U., Sugandhi, N., Batra, C. M., & Anu, V. M. (2025). Automated forest land division using deep learning and drone imagery. *PLoS ONE*, *20*(10). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0335009

17. Bose, S. R., Jeba, J. A., Regin, R., Flavia, B. J., Rajest, S. S., & Panakkal, R. (2025). Protecting Forest Ecosystems Through Machine Learning–Driven Deforestation

Detection. *FMDB Transactions on Sustainable Environmental Sciences*, *2*(3), 171–182. https://doi.org/10.69888/ftsess.2025.000543

18. Brand, A., & Manandhar, A. (2021). Semantıc Segmentatıon Of Burned Areas In Satellıte Images Usıng A U-Net-Based Convolutıonal Neural Network. *The İnternational Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences/International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, 47–53. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xliii-b3-2021-47-2021

19. Brandmeier, M., & Chérif, E. (2021). *Taking the pulse of the Amazon rainforest by fusing multitemporal Sentinel 1 and 2 data for advanced deep-learning*. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-3749

20. Bueso–Bello, J., Chauvel, B., Carcereri, D., Posovszky, P., Milillo, P., Ruiz, J. E., Fernandez-Diaz, J. C., González, C., Martone, M., Hänsch, R., & Rizzoli, P. (2025). Very High-Resolution Forest Mapping with TanDEM-X InSAR Data and Self-Supervised Learning. *arXiv (Cornell University)*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2505.03327

21. Çankaya, E. Ç., Gencal, B., & Sönmez, T. (2025). Advancıng Forest Land Monıtorıng In Istanbul Regıonal Dırectorate Of Forestry: Integratıng U-Net Deep Learnıng. *ArtGRID - Journal of Architecture Engineering and Fine Arts*, *7*(1), 26–44. https://doi.org/10.57165/artgrid.1709260

22. Carter, G., Wagner, F., Dalagnol, R., Roberts, S., Ritz, A. L., & Saatchi, S. (2024). Detection of forest disturbance across California using deep-learning on PlanetScope imagery. *Frontiers in Remote Sensing*, *5*. https://doi.org/10.3389/frsen.2024.1409400

23. Casas, E., Ramos, L., Bendek, E., & Rivas, F. (2023). Assessing the Effectiveness of YOLO Architectures for Smoke and Wildfire Detection. *IEEE Access*, *11*, 96554–96583. https://doi.org/10.1109/access.2023.3312217

24. Casas, E., Ramos, L., Bendek, E., & Rivas, F. (2024). YOLOv5 vs. YOLOv8: Performance Benchmarking in Wildfire and Smoke Detection Scenarios. *Journal of Image and Graphics*, *12*(2), 127–136. https://doi.org/10.18178/joig.12.2.127-136

25. Castro, V. C., & Silva, M. D. da. (2025). *Análise Multitemporal do Desmatamento por CNNs na Região Tocantina a partir de Imagens Sentinel-2*. 196–199. https://doi.org/10.5753/eramiars.2025.16276

26. Chen, L., Chen, Z., Zhang, Y., Liu, Y., Osman, A. I., Farghali, M., Hua, J., Al-Fatesh, A. S., Ihara, I., Rooney, D. W., & Yap, P. (2023). Artificial intelligence-based solutions for climate change: a review [Review of *Artificial intelligence-based solutions for climate change: a review*]. *Environmental Chemistry Letters*, *21*(5), 2525–2557. Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/s10311-023-01617-y

27. Choi, Y., Lee, D., & Moon, S. (2024). Deforestation Segmentation Approach Based on Time of Event Occurrence Using Multitemporal Satellite Data. *IEEE Sensors Letters*, *9*(2), 1–4. https://doi.org/10.1109/lsens.2024.3512880

28. Couttenier, M., Rollo, S. D., Inguere, L., Mohand, M., & Schmidt, L. (2022). Mapping artisanal and small-scale mines at large scale from space with deep learning. *PLoS ONE*, *17*(9). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267963

29. Crowley, M. A., & Cardille, J. A. (2020). Remote Sensing's Recent and Future Contributions to Landscape Ecology. *Current Landscape Ecology Reports*, *5*(3), 45–57. https://doi.org/10.1007/s40823-020-00054-9

30. Davari, A., Islam, S., Seehaus, T., Hartmann, A., Braun, M., Maier, A., & Christlein, V. (2021). On Mathews Correlation Coefficient and Improved Distance Map Loss for Automatic Glacier Calving Front Segmentation in SAR Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *60*, 1–12. https://doi.org/10.1109/tgrs.2021.3115883

31. Decuyper, M., Chávez, R. O., Lohbeck, M., Lastra, J. A., Tsendbazar, N., Hackländer, J., Herold, M., & Vågen, T. (2021). Continuous monitoring of forest change dynamics with satellite time series. *Remote Sensing of Environment*, *269*, 112829–112829. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112829

32. Dersch, S., Schöttl, A., Krzystek, P., & Heurich, M. (2022). Novel Sıngle Tree Detectıon By Transformers Usıng Uav-Based Multıspectral Imagery. *The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 981–988. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xliii-b2-2022-981-2022

33. Dhanalakshmi, M., P, V. R. K., Rashmi, S., & Vijetha. (2025). *Advanced Deep Learning Techniques for Predicting and Mitigating Deforestation*. 1–6. https://doi.org/10.1109/icctdc64446.2025.11158107

34. Efe, E., & Algancı, U. (2022). Çok zamanlı Sentinel 2 uydu görüntüleri ve makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi. *Geomatik*, *8*(1), 27–34. https://doi.org/10.29128/geomatik.1092838

35. Eker, R., Alkiş, K. C., Uçar, Z., & Aydın, A. (2023). Ormancılıkta makine öğrenmesi kullanımı. *Turkish Journal of Forestry | Türkiye Ormancılık Dergisi*, 150–177. https://doi.org/10.18182/tjf.1282768

36. Estrada, J. S., Fuentes, A., Reszka, P., & Cheein, F. A. (2023). Machine learning assisted remote forestry health assessment: a comprehensive state of the art review [Review of *Machine learning assisted remote forestry health assessment: a comprehensive state of the art review*]. *Frontiers in Plant Science*, *14*. Frontiers Media. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1139232

37. Ferrari, F., Ferreira, M. P., Almeida, C., & Feitosa, R. Q. (2023). Fusing Sentinel-1 and Sentinel-2 Images for Deforestation Detection in the Brazilian Amazon Under Diverse Cloud Conditions. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *20*, 1–5. https://doi.org/10.1109/lgrs.2023.3242430

38. Ferrari, F., Ferreira, M. P., & Feitosa, R. Q. (2023). Fusıng Sentınel-1 And Sentınel-2 Images Wıth Transformer-Based Network For Deforestatıon Detectıon In The Brazılıan Amazon Under Dıverse Cloud Condıtıons. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 999–1006. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-x-1-w1-2023-999-2023

39. Fiche, A., Hardy, C., & Mora, B. (2022). Towards A Tree Cover Change Early Warnıng System Based On Sentınel-1 Data And A Neural Network Archıtecture. *The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 603–609. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xliii-b3-2022-603-2022

40. Gao, H., Qi, M., Du, B., Yang, S., Li, H., Wang, T., Zhong, W., & Tang, Y. (2024). An accurate semantic segmentation model for bean seedlings and weeds identification based on improved ERFnet. *Scientific Reports*, *14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-61981-9

41. Gu, Z., & Zeng, M. (2023). The Use of Artificial Intelligence and Satellite Remote Sensing in Land Cover Change Detection: Review and Perspectives. *Sustainability*, *16*(1), 274–274. https://doi.org/10.3390/su16010274

42. Gudelė, G. M., & Visockienė, J. S. (2024). Remote Sensıng Data Applıcatıon To Monıtor Carbon Farmıng Practıces. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 257–265. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlviii-4-w9-2024-257-2024

43. Guimarães, U. S., Rodrigues, T. B., Vieira, A. C., Hung, E. M., Soja, M. J., Eriksson, L. E. B., & Ulander, L. M. H. (2025). Deep learning models to map deforestation based on Sentinel 1 coherent features in the southern border of Amazon. *Science of Remote Sensing*, *12*, 100279–100279. https://doi.org/10.1016/j.srs.2025.100279

44. Gupta, R., Ruokolainen, K., & Tuomisto, H. (2024). *Detection of Deforestation Using Prisma Hyperspectral and Deep Learning (1DCNN) in the Amazon Forest*. *21*, 3704–3707. https://doi.org/10.1109/igarss53475.2024.10642196

45. Hamedianfar, A., Mohamedou, C., Kangas, A., & Vauhkonen, J. (2022). Deep learning for forest inventory and planning: a critical review on the remote sensing approaches so far and prospects for further applications. *Forestry An International Journal of Forest Research*, *95*(4), 451–465. https://doi.org/10.1093/forestry/cpac002

46. Hamunyela, E., Roşca, S., Mîrț, A., Engle, E., Herold, M., Gieseke, F., & Verbesselt, J. (2020). Implementation of BFASTmonitor Algorithm on Google Earth Engine to Support Large-Area and Sub-Annual Change Monitoring Using Earth Observation Data. *Remote Sensing*, *12*(18), 2953–2953. https://doi.org/10.3390/rs12182953

47. Haq, B., Jamshed, M. A., Ali, K., Kasi, B., Arshad, S., Kasi, M. K., Imran, A., Shabbir, A., Abbasi, Q. H., & Rehman, M. U. (2024). Tech-Driven Forest Conservation: Combating Deforestation With Internet of Things, Artificial Intelligence, and Remote Sensing. *IEEE Internet of Things Journal*, *11*(14), 24551–24568. https://doi.org/10.1109/jiot.2024.3378671

48. Hasan, R., Farabi, S. F., Kamruzzaman, Md., Bhuyan, M. K., Nilima, S. I., & Shahana, A. (2024). AI-Driven Strategies for Reducing Deforestation. *The American Journal of Engineering And Technology*, *6*(6), 6–20. https://doi.org/10.37547/tajet/volume06issue06-02

49. Hisariya, S., Devkar, S., Sinha, B., & Raut, R. (2024). *Envisioning Earth: Enabling Environmental Monitoring with U-Net Segmentation of Forests and Waterbodies in Satellite Imagery*. 1–6. https://doi.org/10.1109/gccit63234.2024.10861980

50. Hızal, Ç., Gülsu, G., Akgün, H., Kulavuz, B., Bakırman, T., Aydın, A., & Bayram, B. (2024). Forest Semantıc Segmentatıon Based On Deep Learnıng Usıng Sentınel-2 Images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 229–236. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlviii-4-w9-2024-229-2024

51. Idroes, G. M., Maulana, A., Suhendra, R., Lala, A., Karma, T., Kusumo, F., Hewindati, Y. T., & Noviandy, T. R. (2023). TeutongNet: A Fine-Tuned Deep Learning Model for Improved Forest Fire Detection. *Leuser Journal of Environmental Studies*, *1*(1), 1–8. https://doi.org/10.60084/ljes.v1i1.42

52. Isaienkov, K., Yushchuk, M., Khramtsov, V., & Seliverstov, O. (2020). Deep Learning for Regular Change Detection in Ukrainian Forest Ecosystem With Sentinel-2. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *14*, 364–376. https://doi.org/10.1109/jstars.2020.3034186

53. Jamshed, M. A., Theodorou, C., Kalsoom, T., Anjum, N., Abbasi, Q. H., & Rehman, M. U. (2022). Intelligent computing based forecasting of deforestation using fire alerts: A deep learning approach. *Physical Communication*, *55*, 101941–101941. https://doi.org/10.1016/j.phycom.2022.101941

54. Jelas, I. M., Zulkifley, M. A., Abdullah, M., & Spraggon, M. (2024). Deforestation detection using deep learning-based semantic segmentation techniques: a systematic review [Review of *Deforestation detection using deep learning-based semantic segmentation techniques: a systematic review*]. *Frontiers in Forests and Global Change*, *7*. Frontiers Media. https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1300060

55. Kaladevi, P., Kumar, S., Sargunesh, P., & Shainthavi, D. (2025). *Hierarchical Convolution Neural Network for Deforestation Risk Evaluation*. 1–6. https://doi.org/10.1109/icoact63339.2025.11005092

56. Kalinaki, K., Malik, O. A., & Lai, D. T. C. (2023). FCD-AttResU-Net: An improved forest change detection in Sentinel-2 satellite images using attention residual U-Net. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *122*, 103453–103453. https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103453

57. Kanev, A. I., Tarasov, A. V., Shikhov, A., Podoprigorova, N. S., & Safonov, F. A. (2023). Identification of logged and windthrow areas from Sentinel-2 satellite images using the U-net convolutional neural network and factors affecting its accuracy. *Sovremennye Problemy Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli Iz Kosmosa*, *20*(3), 136–151. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-3-136-151

58. Kanev, A. I., Yurova, E. O., Ponomareva, M. O., & Emelyanova, T. I. (2024). *Using Neural Networks and Machine Learning Methods to Detect Clearcut Regions in SENTINEL–2 Satellite Imagery*. 180–184. https://doi.org/10.1109/elcon61730.2024.10468143

59. Kanga, S. (2023). Advancements in remote sensing tools for forestry analysis. *Sustainable Forestry*, *6*(1). https://doi.org/10.24294/sf.v6i1.2269

60. Karaman, K., Garnot, V. S. F., & Wegner, J. D. (2023). Deforestatıon Detectıon In The Amazon Wıth Sentınel-1 Sar Image Tıme Serıes. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 835–842. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-x-1-w1-2023-835-2023

61. Kaselimi, M., Voulodimos, A., Daskalopoulos, I., Doulamis, N., & Doulamis, A. (2022). A Vision Transformer Model for Convolution-Free Multilabel Classification of Satellite Imagery in Deforestation Monitoring. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, *34*(7), 3299–3307. https://doi.org/10.1109/tnnls.2022.3144791

62. Kattenborn, T., Leitloff, J., Schiefer, F., & Hinz, S. (2021). Review on Convolutional Neural Networks (CNN) in vegetation remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *173*, 24–49. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.12.010

63. Kaur, G., & Afaq, Y. (2025). DTFD : A Transformer Approach for High-Resolution Satellite Image Forest Change Detection. *Transactions in GIS*, *29*(7). https://doi.org/10.1111/tgis.70150

64. Khan, Mr. H. G., Mr. Rupesh Thakare, Furquan, & Kale, G. Prof. C. W. R. Mr. S. (2026). Implementation of Machine Learning Approach for Deforestation Prediction. *International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology*, 477–477. https://doi.org/10.48175/ijarsct-32243

65. Khoshnevisan, E., Khoshnevisan, S., Gharechelou, S., & Khakzad, S. F. (2025). *Evaluation of Deep Learning-Based Segmentation Models for Forest Cover Detection in Iran: A Study on Sentinel-2 Imagery*. 529–533. https://doi.org/10.1109/icwr65219.2025.11006174

66. Kishore, E., Raman, D. R., Sheeba, V., & Balachandar, A. (2025). *Deforestation Detection based on Swin Transformer and U-Net architecture in Satellite Images*. 1–6. https://doi.org/10.1109/icaeca63854.2025.11012642

67. Kılıç, A., Kulavuz, B., Bakırman, T., & Bayram, B. (2024). Comparison of Two Deep Learning Models to Determine Burned Forest Areas from Sentinel-2 Imagery. *Baltic Journal of Modern Computing*, *12*(4). https://doi.org/10.22364/bjmc.2024.12.4.06

68. Kösecioğlu, D. D., Çetin, A., & Üçdal, B. K. (2025). Mesafe Çıkarımlı Görüntü Analizi ile Akıllı Orman Yangını Tespiti. *DergiPark (Istanbul University)*. https://dergipark.org.tr/en/pub/innai/issue/92049/1681631

69. Kovačovič, P., Pirník, R., Kafková, J., Michálik, M., Kanáliková, A., & Kuchár, P. (2025). Satellite-Based Forest Stand Detection Using Artificial Intelligence. *IEEE Access*, *13*, 10898–10917. https://doi.org/10.1109/access.2025.3528215

70. Kurasinski, L., Tan, J. E. T., & Malekian, R. (2023). Using Neural Networks to Detect Fire from Overhead Images. *Wireless Personal Communications*, *130*(2), 1085–1105. https://doi.org/10.1007/s11277-023-10321-7

71. Kurasinski, L., Tan, J., & Malekian, R. (2022). Using neural networks to detect fire from overhead images. *Research Square (Research Square)*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1890467/v1

72. Lee, S.-H., Han, K., Lee, K., Lee, K., Oh, K.-Y., & Lee, M.-J. (2020). Classification of Landscape Affected by Deforestation Using High-Resolution Remote Sensing Data and Deep-Learning Techniques. *Remote Sensing*, *12*(20), 3372–3372. https://doi.org/10.3390/rs12203372

73. Li, C., Harris, A., Marimon, B. S., Marimon, B. H., Dennis, M., & Bispo, P. da C. (2025). Mapping the Cerrado–Amazon Transition Using PlanetScope–Sentinel Data Fusion and a U-Net Deep Learning Framework. *Remote Sensing*, *17*(13), 2138–2138. https://doi.org/10.3390/rs17132138

74. Manish, M. G., Yash, O. A., Priya, M. M., Ankit, N. Y., Sejal, M. N., & Prapti, P. P. (2025). Environmental damage assessment using image processing. *I-Manager's Journal on Image Processing*, *12*(3), 35–35. https://doi.org/10.26634/jip.12.3.22034

75. Manyothwane, T. M., & Tsidu, G. M. (2025). Challenging global generalizations: superior land cover mapping in Botswana with a locally trained transformer model. *Frontiers in Remote Sensing*, *6*. https://doi.org/10.3389/frsen.2025.1654692

76. Maretto, R. V., Fonseca, L. M. G., Jacobs, N., Körting, T. S., Bendini, H. do N., & Parente, L. (2020). Spatio-Temporal Deep Learning Approach to Map Deforestation in Amazon Rainforest. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *18*(5), 771–775. https://doi.org/10.1109/lgrs.2020.2986407

77. Marinelli, R. (2022). Analysis of Deep Learning Architectures and Efficacy of Detecting Forest Fires. *arXiv (Cornell University)*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2212.04030

78. Matosak, B. M., Fonseca, L. M. G., Taquary, E. C., Maretto, R. V., Bendini, H. do N., & Adami, M. (2022). Mapping Deforestation in Cerrado Based on Hybrid Deep Learning Architecture and Medium Spatial Resolution Satellite Time Series. *Remote Sensing*, *14*(1), 209–209. https://doi.org/10.3390/rs14010209

79. Melnikov, A., Polishchuk, Yu. M., Rusanov, M. A., Abbazov, V. R., Кочергин, Г. А., Kupriyanov, M. A., Baisalyamova, O. A., & Sokolkov, O. I. (2024). Comparative analysis of neural network models for felling mapping in summer satellite imagery. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies Mechanics and Optics*, *24*(5), 806–814. https://doi.org/10.17586/2226-1494-2024-24-5-806-814

80. Mielczarek, D., & Najman, K. (2024). Application of Convolutional Neural Networks for Windthrow and Windbreak Timber Volume Estimation in the Stare Jabłonki

Forest District. *Research Square (Research Square)*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3846157/v1

81. Neves, C. N., Feitosa, R. Q., Adarme, M. X. O., & Giraldi, G. A. (2023). Combining recurrent and residual learning for deforestation monitoring using multitemporal SAR images. *arXiv (Cornell University)*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2310.05697

82. Nguyen-Trong, K., & Tran-Xuan, H. (2022). Coastal forest cover change detection using satellite images and convolutional neural networks in Vietnam. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, *11*(3), 930–930. https://doi.org/10.11591/ijai.v11.i3.pp930-938

83. Nurmasari, Y., & Wijayanto, A. W. (2021). Oıl Palm Plantatıon Detectıon In Indonesıa Usıng Sentınel-2 And Landsat-8 Optıcal Satellıte Imagery (Case Study: Rokan Hulu Regency, Rıau Provınce). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, *18*(1), 1–1. https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2021.v18.a3537

84. Onishi, M., & Ise, T. (2021). Explainable identification and mapping of trees using UAV RGB image and deep learning. *Scientific Reports*, *11*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-020-79653-9

85. Ortega, M. X., Castro, J. D. B., Happ, P. N., Gomes, A. R., & Feitosa, R. Q. (2019). Evaluatıon Of Deep Learnıng Technıques For Deforestatıon Detectıon In The Amazon Forest. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 121–128. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-iv-2-w7-121-2019

86. Pan, J., Chizhova, M., Ebener, F., Lühmann, T., Ledig, C., Maiwald, F., & Eißing, T. (2025). An End-to-End AI Pipeline for Wood Knot Detection to Enhance Structural Assessment in Historic Timber Structures. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 267–274. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-x-m-2-2025-267-2025

87. Pickens, A., Hansen, M. C., Song, Z., Poulson, A., Komarova, A., Baggett, A., Kerr, T., Mikus, A., Domínguez, C., Tyukavina, A., & Lima, A. (2025). Rapid monitoring of global land change. *Nature Communications*, *16*(1), 8948–8948. https://doi.org/10.1038/s41467-025-64014-9

88. Pimpalkar, S., D, S. M., Manjusree, P., Acharya, S. K., & Patil, M. (2025). Evaluating Afforestation and Deforestation Using Attention-based Semantic Segmentation of Sentinel-2 RGB-NIR Bands. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*, *15*(4), 1309–1317. https://doi.org/10.18517/ijaseit.15.4.20466

89. Pokkuluri, K. S., Devi, N. S. S. S. N. U., & Khang, A. (2025). Deforestation and Forest Monitoring With CNN and RNN. In *Advances in computational intelligence and robotics book series* (pp. 191–208). IGI Global. https://doi.org/10.4018/979-8-3373-1399-3.ch008

90. Prabu, M., Preetham, S. S., & TU, D. (2024). *Integrated Framework for Accurate Change Detection and Deforestation Identification in Satellite Imagery*. 1–6. https://doi.org/10.1109/inc460750.2024.10649388

91. Proceedings of the 19th Conference on Computer Science and Intelligence Systems (FedCSIS). (2024). *Annals of Computer Science and Information Systems*, *39*. https://doi.org/10.15439/978-83-969601-6-0

92. Rahman, A. U., Heinaro, E., Ahishali, M., & Junttila, S. (2025). Dual-Task Learning for Dead Tree Detection and Segmentation with Hybrid Self-Attention U-Nets in Aerial Imagery. *arXiv (Cornell University)*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2503.21438

93. Raihan, A. (2023). Artificial intelligence and machine learning applications in forest management and biodiversity conservation. *Natural Resources Conservation and Research*, *6*(2), 3825–3825. https://doi.org/10.24294/nrcr.v6i2.3825

94. Rawarkar, C. W., & Agrawal, S. (2024). *Analyzing the Role of Machine Learning and Satellite Image Processing in Predicting Deforestation*. 1–6. https://doi.org/10.1109/idicaiei61867.2024.10842740

95. Saavedra-Mera, K. A. (2024). Perspectivas sobre el uso de tecnología de teledetección para el monitoreo de la deforestación y degradación forestal. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, *2*(3), 1–12. https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n3/37

96. Şandric, I., Chiţu, Z., Ilinca, V., & Irimia, R. (2024). Using high-resolution UAV imagery and artificial intelligence to detect and map landslide cracks automatically. *Landslides*, *21*(10), 2535–2543. https://doi.org/10.1007/s10346-024-02295-9

97. Sandum, H. N., Ørka, H. O., Tomić, O., Næsset, E., & Gobakken, T. (2025). Semantic segmentation of forest stands using deep learning. *arXiv (Cornell University)*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2504.02471

98. Sani-Mohammed, A., Yao, W., & Heurich, M. (2022). Instance segmentation of standing dead trees in dense forest from aerial imagery using deep learning. *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *6*, 100024–100024. https://doi.org/10.1016/j.ophoto.2022.100024

99. Schiefer, F., Kattenborn, T., Frick, A., Frey, J., Schall, P., Koch, B., & Schmidtlein, S. (2020). Mapping forest tree species in high resolution UAV-based RGB-imagery by means of convolutional neural networks. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *170*, 205–215. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.10.015

100. Sengani, D., Ramoelo, A., & Archer, E. (2023). A review of fusion framework using optical sensors and Synthetic Aperture Radar imagery to detect and map land degradation and sustainable land management in the semi-arid regions [Review of *A review of fusion framework using optical sensors and Synthetic Aperture Radar imagery to detect and map land degradation and sustainable land management in the semi-arid regions*]. *Geocarto International*, *38*(1). Taylor & Francis. https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2278325

101. Şengün, E., Aksoy, S., Sertel, E., & Fransson, J. E. S. (2025). Comparative Analysis of YOLOv8 and YOLOv11 on Tree Detection Using UAV RGB and Laser Scanning Data. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial*

Information Sciences, 173–179. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-x-2-w2-2025-173-2025

102. Sertel, E., & Topgül, Ş. N. (2025). Comparative analysis of deep learning approaches for forest stand type classification: insights from the new VHRTreeSpecies benchmark dataset. *International Journal of Digital Earth*, *18*(1). https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2522394

103. Shadrin, D., Illarionova, S., Gubanov, F., Evteeva, K., Mironenko, M., Levchunets, I., Belousov, R., & Burnaev, E. (2024). Wildfire spreading prediction using multimodal data and deep neural network approach. *Scientific Reports*, *14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-52821-x

104. Shamta, I., & Demir, B. E. (2024). Development of a deep learning-based surveillance system for forest fire detection and monitoring using UAV. *PLoS ONE*, *19*(3). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299058

105. Shashikala, K. S., Vadlamudi, S., M, S. B., Immannavar, G. L., & Rekha. (2025). *Tracking Deforestation using High-Resolution Satellite Images with Deep-learning Techniques Combining UNet and ResNet*. 911–914. https://doi.org/10.1109/icicnis66685.2025.11315536

106. Shumilo, L., Kussul, N., & Lavreniuk, M. (2021). *U-Net Model for Logging Detection Based on the Sentinel-1 and Sentinel-2 Data*. https://doi.org/10.1109/igarss47720.2021.9554885

107. Solórzano, J. V., Mas, J., Gao, Y., & Gallardo-Cruz, J. A. (2021). Land Use Land Cover Classification with U-Net: Advantages of Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 Imagery. *Remote Sensing*, *13*(18), 3600–3600. https://doi.org/10.3390/rs13183600

108. Souza, L. M. B. de, Zreik, I. V. R., Salem-Sermanet, A., Seghouani, N., & Pourchier, L. (2024). A Deep Learning-Based Approach for Mangrove Monitoring. *arXiv (Cornell University)*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2410.05443

109. Tamasauskas, L. de O., Dias, J. A. C., Costa, G. B., & Seruffo, M. C. da R. (2024). *Aplicação e Otimização de Redes Neurais Convolucionais para Detecção de Desmatamento em Imagens de Satelite Sentinel-2*. 7–12. https://doi.org/10.5753/erin.2024.4536

110. Tanase, M. A., Martini, J. P., Julio-Miranda, P., García, D., Wilke, V., Díez, J. J., Natal, S., & Martín, D. S. (2025). Estimación de variables forestales a partir sensores lidar y ópticos e inteligencia artificial. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. https://doi.org/10.18172/cig.6767

111. Tarasov, A. V., Shikhov, A., & Shabalina, T. V. (2021). Detection of forest disturbances in Sentinel-2 images with convolutional neural networks. *Sovremennye Problemy Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli Iz Kosmosa*, *18*(3), 51–64. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-3-51-64

112. Tırmanoğlu, B., İsmailoğlu, İ., Kokal, A. T., & Musaoğlu, N. (2023). Yeni nesil multispektral ve hiperspektral uydu görüntülerinin arazi örtüsü / arazi kullanımı sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması: Sentinel-2 ve PRISMA Uydusu. *Geomatik*, *8*(1), 79–90. https://doi.org/10.29128/geomatik.1126685

113. Topçu, C., & Güneş, P. (2023). Deep Learning in Plant Disease Detection: Effectiveness of ResNet Model. *DergiPark (Istanbul University)*. https://dergipark.org.tr/tr/pub/abmyoder/issue/86306/1407247

114. Torres, D. L., Turnes, J. N., Vega, P. J. S., Feitosa, R. Q., Silva, D. E., Marcato, J., & Almeida, C. (2021). Deforestation Detection with Fully Convolutional Networks in the Amazon Forest from Landsat-8 and Sentinel-2 Images. *Remote Sensing*, *13*(24), 5084–5084. https://doi.org/10.3390/rs13245084

115. Vega, P. J. S., Torres, D. L., Andrade-Miranda, G., Costa, G., & Feitosa, R. Q. (2024). Assessing the Generalization Capacity of Convolutional Neural Networks and Vision Transformers for Deforestation Detection in Tropical Biomes. *˜The œinternational Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences/International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 519–525. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlviii-3-2024-519-2024

116. Wagner, F., Dalagnol, R., Silva, C. H. L., Carter, G., Ritz, A. L., Hirye, M. C. M., Ometto, J. P., & Saatchi, S. (2023). Mapping Tropical Forest Cover and Deforestation with Planet NICFI Satellite Images and Deep Learning in Mato Grosso State (Brazil) from 2015 to 2021. *Remote Sensing*, *15*(2), 521–521. https://doi.org/10.3390/rs15020521

117. Wen, Y., Ma, X., Zhang, X., & Pun, M.-O. (2024). GCD-DDPM: A Generative Change Detection Model Based on Difference-Feature-Guided DDPM. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *62*, 1–16. https://doi.org/10.1109/tgrs.2024.3381752

118. Wu, Z., Zhang, C., Gu, X., Duporge, I., Hughey, L. F., Stabach, J. A., Skidmore, A. K., Hopcraft, J. G. C., Lee, S. J., Atkinson, P. M., McCauley, D. J., Lamprey, R., Ngene, S., & Wang, T. (2023). Deep learning enables satellite-based monitoring of large populations of terrestrial mammals across heterogeneous landscape. *Nature Communications*, *14*(1). https://doi.org/10.1038/s41467-023-38901-y

119. Xiang, J., Xing, Y., Wei, W., Yan, E., Jiang, J., & Mo, D. (2023). Dynamic Detection of Forest Change in Hunan Province Based on Sentinel-2 Images and Deep Learning. *Remote Sensing*, *15*(3), 628–628. https://doi.org/10.3390/rs15030628

120. Yandouzi, M., GRARI, M., Berrahal, M., Idrissi, I., MOUSSAOUI, O., AZIZI, M., GHOUMID, K., & Elmiad, A. K. (2023). Investigation of Combining Deep Learning Object Recognition with Drones for Forest Fire Detection and Monitoring. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, *14*(3). https://doi.org/10.14569/ijacsa.2023.0140342

121. Yang, K., John, A., Shean, D., Lundquist, J. D., Sun, Z., Yao, F., Todoran, S., & Cristea, N. (2023). High-resolution mapping of snow cover in montane meadows and forests using Planet imagery and machine learning. *Frontiers in Water*, *5*. https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1128758

122. Zhang, J., & Aibin, M. (2024). Enhancing Tree Type Detection in Forest Fire Risk Assessment: Multi-Stage Approach and Color Encoding with Forest Fire Risk Evaluation Framework for UAV Imagery. *arXiv (Cornell University)*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2407.19184

123. Zhao, H., Morgenroth, J., Pearse, G. D., & Schindler, J. (2023). A Systematic Review of Individual Tree Crown Detection and Delineation with Convolutional Neural Networks (CNN) [Review of *A Systematic Review of Individual Tree Crown Detection and Delineation with Convolutional Neural Networks (CNN)*]. *Current Forestry Reports*, *9*(3), 149–170. Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/s40725-023-00184-3

APPLICATIONS OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND REMOTE SENSING IN WATERSHED MANAGEMENT

Ruhi ÖZDEMİR[1] , Necla KORALAY[2]

[1]Karadeniz Technical University, Forest Engineering, Watershed Management, Trabzon, Türkiye,Orcid: 0009-0007-8927-6124

[2]Karadeniz Technical University, Forest Engineering, Watershed Management, Trabzon, Türkiye, Orcid: 0000-0002-9223-6795

Abstract

Watershed management is an interdisciplinary process aimed at the sustainable and integrated planning of water, soil, and ecosystem components. Today, factors such as population growth, climate change, and uncontrolled land-use changes impose increasing pressures on watershed systems, thereby necessitating science-based management approaches. In this context, Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing technologies have emerged as critical tools in watershed management by enabling the efficient analysis of spatial and temporal data.

In this study, the contributions of GIS and remote sensing applications in watershed management were evaluated based on the existing literature. GIS provides high accuracy and flexibility in processes such as watershed delineation, topographic analysis, monitoring of land use/land cover changes, and hydrological risk assessments (e.g., floods and erosion). Remote sensing techniques, on the other hand, facilitate the identification of land cover dynamics, the calculation of vegetation indices, and the monitoring of temporal variations in water resources through satellite and aerial imagery.

The integration of these two technologies significantly contributes to the development of data-driven decision support systems at the watershed scale. In conclusion, the combined use of GIS and remote sensing technologies enhances the effectiveness of watershed planning and management processes while strengthening the scientific basis for sustainable natural resource management. The wider adoption of these technologies, particularly in academic research and applied studies, will improve the accuracy and reliability of decision-making processes.

Keywords: Decision support systems, Geographic information systems, remote sensing, watershed management

Introduction

Watershed management plays a critical role in the sustainable use of water resources, the prevention of soil erosion, the conservation of ecosystem balance, and the achievement of sustainable development goals (Wang et al., 2016; Uzun & Garipağaoğlu, 2021; Doğan et al., 2024). In this context, Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing

(RS) techniques provide effective solutions for analyzing and simulating the complexity of natural processes and human activities at the watershed scale, as well as supporting decision-making mechanisms. In particular, GIS and remote sensing technologies serve as fundamental tools in planning processes, including watershed delineation, spatial analysis of land-use changes, and environmental impact assessment (Göl et al., 2018; Kumar, 2025; Kuru & Tezer, 2019).

These technologies enable detailed investigations of spatial transformations at the watershed scale, facilitate the assessment of the impacts of land-cover changes on water resources and ecosystems, and support the development of comprehensive databases for long-term management strategies. Consequently, the integration of remote sensing and GIS has become an indispensable requirement for project-based watershed delineation and the systematic analysis of spatial data. Furthermore, these techniques are of great importance in watershed planning by enabling the rapid acquisition and reliable processing of both current and historical data, as well as the dynamic monitoring of changes in land cover and land use. Owing to the repetitive imaging capability of remote sensing data, they also provide opportunities for real-time monitoring across both spatial and temporal scales (Ahi & Eymen, 2021; Kumar, 2025; Romano et al., 2018; Wang et al., 2016; Yağmur et al., 2020).

The role of GIS and remote sensing technologies in watershed management is evident in providing integrated solutions to environmental challenges through applications such as erosion modeling, land-use prioritization, and decision support systems that enhance stakeholder participation (Quinn et al., 2022; Rahmani, 2021; Ramsankaran et al., 2017). The effective utilization of these technologies necessitates the systematic implementation of watershed management activities through an interdisciplinary approach, owing to their capacity for rapid data generation, processing, and analysis. Within this framework, the delineation of watersheds in accordance with project objectives and the incorporation of GIS and remote sensing techniques into the analysis of spatial data have become indispensable requirements. Accordingly, contemporary watershed management studies should be conducted with the support of these technologies, as the rapid production and analysis of data, the accurate identification and resolution of environmental problems, and the development of future-oriented planning scenarios through simulation techniques require a multidisciplinary approach (Uzun & Garipağaoğlu, 2021). Furthermore, the integration of GIS and remote sensing technologies represents a significant milestone in the evolution of watershed management practices, while also facilitating coordination and collaboration among different institutions and stakeholders (Uzun & Garipağaoğlu, 2021).

The aim of this study is to comprehensively evaluate the integrated use of Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) technologies in watershed management through a review of the existing literature, methodological frameworks, and field-based applications, thereby contributing to the development of decision-support tools and providing a foundation for long-term sustainable management policies. The scope of the study encompasses integrated approaches involving soil erosion simulations, land-cover change analyses, and stakeholder interactions. In recent years, the integration of unmanned aerial vehicle (UAV)-based hyperspectral imaging and Light Detection and Ranging (LiDAR) technologies with GIS has revolutionized the high-resolution mapping

of watershed erosion risk at the micro scale. Compared with conventional satellite-based approaches, these advanced technologies offer dynamic monitoring and early intervention capabilities with substantially higher levels of accuracy, thereby enhancing the effectiveness of watershed assessment and management practices (Köppl, 2022; Medeiros et al., 2025; Senanayake et al., 2020). This approach enables more accurate and comprehensive investigations of complex processes such as soil erosion modeling and natural hazard risk assessment. In this context, the relationships between the main watershed components and sub-watersheds, together with the outputs of quantitative analyses, play a decisive role in addressing existing environmental problems and achieving long-term sustainable management objectives. Accordingly, GIS and remote sensing technologies provide decision-makers with critical tools for developing alternative management scenarios, modeling the impacts of human activities, and visualizing the environmental consequences of these scenarios. Furthermore, their integration with hydraulic and hydrological simulation models facilitates spatially detailed analyses and supports the optimization of watershed management plans, thereby enhancing the effectiveness of decision-making and resource management processes (Kumar, 2025; Quinn et al., 2022; Ramsankaran et al., 2017; Wang et al., 2016).

Structural and Functional Components of the Watershed Ecosystem

A watershed can be defined as a natural hydrological unit bounded by drainage divides that separate it from adjacent areas and convey precipitation through surface and subsurface flow pathways to rivers, lakes, or seas. The fundamental components of watersheds include geomorphology, elevation, slope, vegetation cover, land-use patterns, and socio-economic structures. The integrated interaction of these components forms the basis for interdisciplinary analyses in watershed management and planning (Uzun & Garipağaoğlu, 2021; Yüksek et al., 2020).

Hydrological processes such as precipitation, infiltration, surface runoff, groundwater flow, evapotranspiration, and baseflow govern the watershed water balance, while their complex interactions with geomorphological characteristics, vegetation cover, and land-use patterns strengthen the interdisciplinary foundation of watershed management strategies. Among the key elements of watershed ecosystems, riparian ecotones occupy a particularly critical position. Through the integration of GIS and metrics derived from Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA), including the Structural Corridor Index, Corridor Under Pressure Index, and Conservation Deficiency Index, these ecological corridors can be identified as priority conservation areas, thereby enhancing biodiversity conservation and ecological connectivity (Mykrä et al., 2022; Rosot et al., 2018).

Interactions among soil resources, water systems, and land-use practices are of vital importance in watershed management because land-cover changes can accelerate surface runoff, intensify soil erosion, and degrade water quality. Consequently, integrated approaches that model soil permeability, infiltration capacity, and sediment transport processes provide a scientific foundation for sustainable and long-term management planning. Furthermore, watersheds can be prioritized for erosion risk assessment at the sub-watershed scale through GIS-based calculations of geomorphometric parameters such as drainage density, stream frequency, form factor, and hypsometric integral. This

hierarchical framework facilitates the identification of critical management zones under limited resource conditions and enables quantitative analyses of dynamic watershed processes beyond traditional descriptive approaches (Kumar et al., 2021; M. C. Singh et al., 2023; W. R. Singh et al., 2021; Taib et al., 2023).

In this context, the accurate characterization of watershed systems through the integration of geomorphological attributes with socio-economic factors, including climate conditions, agricultural land use, and settlement patterns, constitutes a fundamental prerequisite for the development of integrated watershed management models. GIS-based analyses further strengthen this integration by supporting hydrological cycle assessments, erosion risk evaluations, and spatial decision-making processes, thereby contributing to more effective and sustainable watershed planning and management (Prabhakar et al., 2019; Shekar et al., 2023; Yüksek et al., 2020).

Theoretical and Technical Foundations of GIS and Remote Sensing Technologies in Watershed Management

1. Structure and Functions of Geographic Information Systems

Geographic Information Systems (GIS) are defined as multi-component decision-support systems that enable the collection, storage, management, analysis, and visualization of spatial and attribute data. By integrating hardware, software, data, human resources, and analytical methodologies within a unified framework, GIS provides a comprehensive infrastructure for evaluating complex environmental processes in watershed management. GIS offers significant advantages in a wide range of applications, including hydrological modeling, erosion assessment, sediment transport analysis, and the detection of land-use and land-cover changes. In recent years, the integration of GIS platforms with machine learning and deep learning algorithms has considerably enhanced the automated classification of land-cover types derived from remote sensing data, resulting in higher classification accuracy and improved analytical efficiency. This integration has facilitated more reliable extraction of spatial information and strengthened the predictive capabilities of environmental models. In particular, studies have reported that the incorporation of machine learning techniques into GIS-based workflows can improve the performance of hydrological models such as SWAT in predicting sediment transport and nitrate loads, thereby supporting more accurate watershed assessment and management practices (Samarinas et al., 2020). Furthermore, the combination of GIS, artificial intelligence, and remote sensing technologies enables the processing of large-scale geospatial datasets, the identification of complex spatial patterns, and the development of advanced decision-support systems for sustainable watershed planning and environmental management (Samarinas et al., 2020).

2. Remote Sensing Technologies and Their Applications in Watershed Analysis

Remote sensing technologies are systems that enable the acquisition of data through electromagnetic energy without requiring direct physical contact with objects on the Earth's surface. Data obtained from satellites, airborne platforms, LiDAR systems, and unmanned aerial vehicles (UAVs) allow the monitoring of large areas at the watershed

scale within a short period and with high spatial resolution. These technologies are widely used for the assessment of surface runoff, infiltration capacity, vegetation dynamics, sediment transport, and erosion processes (Dursun & Babalık, 2025).

In particular, the integration of LiDAR data with Sentinel-2 and Landsat imagery facilitates the generation of highly accurate digital terrain models, contributing to the precise modeling of surface runoff dynamics and sediment movement. In addition, hyperspectral sensors and UAV-based remote sensing applications provide significant advantages in identifying relationships between vegetation characteristics and soil hydrophysical parameters. Owing to their continuous observation capability and extensive spatial coverage, these technologies have become essential tools for identifying critical intervention areas and developing sustainable conservation strategies in watershed management (Dursun & Babalık, 2025).

3. Major Spatial Data Types Used in Watershed Management

3.1. Satellite Imagery

Imagery acquired from satellite systems such as Landsat, Sentinel, SPOT, and Meteosat represents an important source of spatial data for identifying land-use and land-cover changes, monitoring vegetation dynamics, and managing water resources at the watershed scale. These images are analyzed using computer-assisted classification methods and visual interpretation techniques and are widely employed in watershed planning and management studies (Jaouda et al., 2020; Mimides et al., 2018; Yağmur et al., 2020).

3.2. Digital Elevation Models and LiDAR Data

Digital Elevation Models (DEMs) constitute one of the fundamental data layers for determining the topographic characteristics of watersheds, conducting slope and aspect analyses, generating drainage networks, and delineating sub-watershed boundaries. LiDAR technology and aerial photographs provide high-resolution topographic data, enabling more precise morphological analyses. These datasets make significant contributions to flood modeling, erosion risk assessment, and surface runoff simulations by improving the accuracy of terrain representation and hydrological analyses (Utlu et al., 2025).

3.3. Land Use and Land Cover Data

Land-use data are of critical importance for evaluating hydrological processes and monitoring environmental changes within watersheds. Through the integrated analysis of Sentinel and Landsat imagery together with DEM data in a GIS environment, highly accurate land-cover classifications can be achieved. The resulting datasets serve as essential inputs for models such as the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), which are widely used for erosion risk assessment, sediment transport analysis, and water quality evaluation. Consequently, the impacts of land-use changes on watershed hydrology can be quantitatively assessed,

thereby supporting the development of sustainable watershed management strategies (Anil et al., 2023; Hussain et al., 2021; Kumar, 2025; Romano et al., 2018; Jaouda et al., 2020; Mimides et al., 2018; Yağmur et al., 2020).

Major Application Areas of GIS and Remote Sensing Technologies in Watershed Management

1. Analysis of Land Use and Land Cover Changes

The analysis of land use and land cover (LULC) changes is an important area of study in watershed management for monitoring environmental processes and ensuring the sustainable management of natural resources. Through the use of Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing technologies, spatial data covering large areas can be analyzed efficiently, enabling the temporal monitoring of changes occurring at the watershed scale. In particular, multispectral satellite imagery obtained from platforms such as Landsat and Sentinel-2 is widely used to identify land-cover classes through supervised maximum likelihood classification and unsupervised classification techniques.

Spectral indices such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Water Index (NDWI) allow the assessment of vegetation density, surface water dynamics, and moisture conditions. By comparing imagery acquired at different time periods, changes in land-use and land-cover patterns can be effectively identified and quantified. The resulting datasets are transformed into digital maps within a GIS environment and subsequently utilized in modeling erosion potential, sediment transport, surface runoff, and other hydrological processes. Consequently, the impacts of environmental changes on natural resources within a watershed can be evaluated in greater detail and with higher spatial accuracy.

Among the major advantages of these methods are their ability to provide rapid data acquisition over extensive areas, support multi-temporal analyses, and offer a cost-effective approach to environmental monitoring. Furthermore, the integration of remote sensing data with hydrological models enhances the accuracy of erosion and sediment transport assessments. However, several limitations may affect analytical accuracy, including cloud cover, atmospheric disturbances, spatial and spectral resolution constraints, and classification errors. In addition, the relatively high cost of very high-resolution imagery and the technical challenges associated with processing large geospatial datasets remain significant disadvantages of these approaches (Dargains & Cabral, 2021; Kumar, 2025; Neuendorf et al., 2018; Thakur et al., 2016).

2. Assessment of Erosion Risks and Sediment Transport Processes

The integration of GIS and remote sensing technologies with hydrological models such as RUSLE and SWAT enables detailed analyses of erosion risks and sediment transport processes at the watershed scale. By utilizing satellite imagery, digital elevation models (DEMs), and land-use data, erosion susceptibility maps can be generated, while sediment yield, transport rates, and surface runoff processes can be spatially modeled. These analyses facilitate the identification of areas with high erosion risk and the delineation of priority conservation zones.

In particular, sediment simulations performed using the SWAT model are widely applied for evaluating soil loss processes within watersheds. High-resolution datasets acquired through unmanned aerial vehicles (UAVs) and Structure-from-Motion (SfM) photogrammetry further contribute to more precise analyses at the field scale. The achievement of low Percent Bias (PBIAS) values during model calibration and validation enhances model reliability and supports the accuracy of simulation results.

These approaches are effectively employed in numerous applications, including reservoir sedimentation prediction, flood susceptibility mapping, identification of erosion hotspots, and the development of water resource protection plans. Furthermore, GIS-based analyses allow the assessment of the temporal and spatial variability of sediment transport processes, thereby providing valuable support for sustainable watershed management and planning efforts (Alexiou et al., 2023; Anil et al., 2023; Köyceğiz et al., 2021; Maurya et al., 2024).

3. Flood, Inundation, and Surface Runoff Analyses

Flood and inundation analyses represent one of the most important application areas in watershed management for reducing the loss of life and property. Through the combined use of Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing technologies, surface runoff processes, flood propagation patterns, and high-risk areas can be identified with a high degree of accuracy. In particular, LiDAR data, unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, and satellite-based remote sensing techniques enable detailed analyses of river channel morphology, terrain slope, drainage networks, and surface water dynamics.

These datasets are integrated with hydrological and hydrodynamic models to generate flood susceptibility maps, flood hazard zones, and surface runoff simulations. Furthermore, factors influencing flood generation, such as vegetation cover, impervious surface ratios, and topographic characteristics, can be spatially assessed and quantified. As a result, high-risk areas can be identified, supporting the development of rapid response plans and effective disaster management strategies.

GIS- and remote sensing-based flood analyses are widely applied in the development of early warning systems, pre-disaster risk assessments, post-flood damage evaluations, and water resource management. Supported by LiDAR, UAV, and satellite-derived datasets, these approaches enhance the accuracy of decision-support mechanisms through the provision of high-resolution spatial information and contribute significantly to sustainable watershed management (Al-Omari et al., 2024; Anees et al., 2018; Annis et al., 2020; Majeed et al., 2023; Utlu et al., 2025).

4. Landslide Susceptibility Assessment and Identification of Natural Hazard Risks

Landslide and natural hazard analyses constitute an important application area in watershed management for risk reduction and the sustainable management of natural resources. The integration of Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing technologies enables detailed assessments of slope instability, deformation processes, and environmental factors that trigger natural hazards. In particular, surface deformations can be monitored with high precision and landslide-prone areas can be spatially identified

through the use of unmanned aerial vehicles (UAVs), LiDAR measurements, InSAR interferometric techniques, and Sentinel satellite data.

The acquired datasets are evaluated together with topographic characteristics, slope conditions, geological structures, land-use patterns, and precipitation data to produce landslide susceptibility maps. In addition, the modeling of slope failure dynamics facilitates the identification of vulnerable settlements, transportation networks, and infrastructure systems, thereby supporting the development of early warning systems. These approaches provide significant advantages, particularly for monitoring sediment accumulation processes in reservoir watersheds and protecting water resources.

GIS- and remote sensing-supported disaster analyses are employed in numerous applications, including pre-disaster risk assessment, post-disaster damage evaluation, preparation of rehabilitation plans, and the development of mitigation measures. The integration of UAV-LiDAR, InSAR, and Sentinel datasets enables deformation monitoring at centimeter-level precision and supports the implementation of highly accurate hazard simulations. Consequently, the effectiveness of decision-support processes in watershed management is enhanced, contributing to the reduction of potential disaster impacts and improving the resilience of watershed systems (Aydınoğlu & Altürk, 2021; Demirbilek & Turoğlu, 2024; Nabukonde et al., 2023; Parenti et al., 2023; Rasyid et al., 2018).

5. Water Quality Monitoring and Pollution Assessment

Water quality monitoring and pollution assessment constitute an important application area in watershed management for the protection and sustainable utilization of water resources. Through the integration of Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing technologies, physical, chemical, and biological water quality parameters can be monitored both spatially and temporally. In particular, multispectral satellite imagery from platforms such as Landsat and Sentinel-2, together with hyperspectral data acquired from unmanned aerial vehicles (UAVs), enables the modeling of parameters such as turbidity, chlorophyll-a, total suspended solids (TSS), phosphorus, and nitrogen through the use of spectral indices.

The resulting datasets can be integrated with hydrological and hydrodynamic models to identify point-source and non-point-source pollution areas, map regions vulnerable to eutrophication, and continuously monitor changes in water quality. Furthermore, GIS-based analyses facilitate the assessment of the spatial distribution of pollution loads, support the development of early warning systems, and contribute to the formulation of management strategies aimed at protecting water resources.

One of the most significant advantages of these approaches is their ability to provide rapid and cost-effective data acquisition over large geographic areas. High levels of accuracy have been achieved, particularly in remote sensing analyses supported by artificial neural networks (ANNs) and machine learning algorithms. The attainment of high coefficient of determination (R^2) values and low error rates in models developed using Sentinel-2 and Landsat data for chlorophyll-a and total suspended solids demonstrates the reliability of these methods. Consequently, water quality monitoring

programs, pollution load simulations, and eutrophication risk assessments can be conducted with a high degree of precision and effectiveness (Çölkesen et al., 2024; Jakovljević et al., 2023; Nikoo et al., 2024; Pizani et al., 2022).

6. Soil Properties, Organic Carbon, and Carbon Storage Analyses

Soil property and carbon storage analyses constitute an important area of study in watershed management for promoting sustainable land use and addressing climate change. Through the integration of Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing technologies, parameters such as soil organic carbon (SOC), soil moisture, soil texture characteristics, and carbon storage capacity can be assessed spatially. In particular, hyperspectral satellite imagery, LiDAR datasets, and high-resolution data acquired from unmanned aerial vehicles (UAVs) enable detailed modeling of the spatial distribution of soil properties.

The resulting datasets provide valuable insights into the impacts of land-use changes on soil carbon stocks and contribute significantly to the assessment of carbon sequestration potential. Furthermore, GIS-based analyses facilitate the mapping of soil moisture patterns, organic matter distribution, and carbon storage capacity, thereby supporting the development of sustainable agricultural practices and climate adaptation strategies.

In recent years, the integration of machine learning algorithms with remote sensing data has substantially improved the accuracy of soil property prediction. Models developed using hyperspectral, LiDAR, and Sentinel datasets have demonstrated high coefficient of determination (R^2) values and low error rates, highlighting the reliability of these approaches. Consequently, the monitoring of soil organic carbon stocks, the evaluation of land-use change impacts, and the formulation of carbon management strategies can be carried out with greater precision and effectiveness (Budak et al., 2023; El-Jamaoui et al., 2025; Heil et al., 2022; Salgado et al., 2025; Wehrhan & Sommer, 2021).

Methods and Modeling Approaches Used in Watershed Management

The methods and modeling approaches employed in watershed management are of great importance for the sustainable management of natural resources, the monitoring of environmental processes, and the mitigation of natural hazard risks. Today, the integration of Geographic Information Systems (GIS), remote sensing technologies, and machine learning algorithms has significantly improved the accuracy of watershed-scale analyses. These integrated approaches enable hydrological, geomorphological, and ecological processes to be evaluated in detail across both spatial and temporal dimensions, thereby facilitating a more comprehensive understanding of the dynamic nature of watershed systems. In particular, the processing of multi-source spatial datasets using advanced analytical techniques contributes substantially to the development of scientific decision-support systems for the conservation and management of water and soil resources.

Geographic Information Systems (GIS) have emerged as one of the fundamental tools in watershed management, providing capabilities for the collection, storage, analysis, management, and visualization of spatial data. GIS-based analyses enable the delineation

of watershed boundaries, the generation of drainage networks, the execution of slope and aspect analyses, the determination of surface flow directions, and the identification of sub-watershed boundaries. Digital Elevation Models (DEMs), in particular, represent one of the most widely used data sources in watershed analysis. Through DEM-derived datasets, hydrological processes can be assessed in detail by calculating flow direction, flow accumulation, topographic wetness index, and various morphometric parameters. These analyses play a critical role in identifying flood and inundation risks, generating erosion susceptibility maps, and modeling sediment transport processes.

Remote sensing technologies provide a rapid, cost-effective, and highly accurate means of acquiring environmental data over large geographic areas. Multispectral imagery obtained from satellite systems such as Landsat, Sentinel, SPOT, and MODIS is widely used for identifying land-use and land-cover changes, monitoring vegetation dynamics, assessing surface water variations, and analyzing natural hazard processes. In addition, high-resolution imagery acquired through LiDAR technology and unmanned aerial vehicles (UAVs) offers significant advantages for topographic investigations. LiDAR data enable the generation of centimeter-level accurate digital surface models, allowing detailed analyses of river channels, landslide-prone areas, and erosion-sensitive zones. Furthermore, hyperspectral sensors facilitate the accurate estimation of environmental indicators such as soil moisture, organic matter content, and water quality parameters, thereby enhancing the effectiveness of watershed assessment and management practices.

One of the principal modeling approaches used in watershed management is hydrological modeling. Models such as SWAT (Soil and Water Assessment Tool), HEC-HMS, MIKE SHE, and WEPP are widely employed to analyze hydrological processes occurring within watersheds. These models enable the simulation of surface runoff, infiltration, evapotranspiration, sediment transport, and nutrient dynamics. Among them, the SWAT model is particularly preferred in watershed management studies because it integrates land-use information, soil characteristics, topographic conditions, and climatic variables within a single modeling framework. Through the integration of GIS and remote sensing datasets, the SWAT model can provide detailed assessments of sediment yield, water quality variations, and the impacts of land-use changes on hydrological processes.

For erosion and sediment transport assessments, the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) is one of the most widely applied modeling approaches. The RUSLE model estimates soil loss using parameters such as rainfall erosivity, soil erodibility, slope length and steepness, vegetation cover, and conservation management practices. GIS-based erosion models developed using satellite imagery and Digital Elevation Model (DEM) data facilitate the identification of erosion-prone areas at the watershed scale and support the delineation of priority intervention zones. Furthermore, the modeling of sediment transport processes provides valuable information for reservoir sedimentation assessment and the sustainable management of water resources.

In recent years, the integration of machine learning algorithms into watershed management studies has significantly enhanced model accuracy. Machine learning techniques such as Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM), Artificial Neural Networks (ANNs), and Deep Learning methods are widely applied in land-use classification, landslide susceptibility assessment, flood prediction, and water quality modeling. Owing to their ability to process large and complex datasets, these algorithms

offer substantial advantages for modeling intricate environmental processes. Previous studies have reported overall classification accuracies of up to approximately 97% for Random Forest models, around 89% for SVM-based approaches, and approximately 87% for artificial neural network models (Bhungeni et al., 2024; Kim et al., 2024). In particular, the analysis of multi-temporal satellite imagery using machine learning techniques has considerably improved the precision of land-use and land-cover change detection.

Machine learning algorithms are not only effective for land-cover classification but also play a crucial role in natural hazard risk assessment. High-accuracy flood and landslide susceptibility models can be developed by integrating topographic characteristics, precipitation data, land-use patterns, geological conditions, and hydrological parameters. Deep learning models integrated with GIS platforms, in particular, provide significant advantages in identifying hazard-prone areas and improving risk prediction capabilities. Furthermore, ANN-based models have demonstrated strong performance in water quality assessments, including the estimation of turbidity, chlorophyll-a, and total suspended solids (TSS). The high coefficient of determination (R^2) values and low prediction errors reported in models developed using Sentinel-2 and Landsat datasets further demonstrate the reliability of remote sensing-based water quality analyses.

One of the principal advantages of GIS- and remote sensing-based approaches is their capacity to provide rapid data acquisition over extensive geographic areas while enabling multi-temporal analyses. These technologies also offer powerful decision-support tools for monitoring natural hazards, evaluating environmental changes, and developing sustainable management policies. Nevertheless, several limitations remain, including cloud cover effects, spatial and spectral resolution constraints, the high cost of very high-resolution imagery, and classification uncertainties. Moreover, the processing of large volumes of high-resolution geospatial data requires substantial computational resources and specialized expertise. However, recent advances in artificial intelligence and cloud-based geospatial processing platforms have contributed significantly to overcoming many of these challenges.

In conclusion, the integrated application of GIS, remote sensing, and machine learning techniques enables more accurate and effective analyses of hydrological processes, natural hazard risks, and environmental changes within watersheds. These interdisciplinary approaches support the sustainable management of water and soil resources, enhance disaster resilience, and facilitate the development of scientifically grounded decision-making frameworks for ecosystem conservation. Furthermore, with the continued advancement of artificial intelligence-driven modeling systems, watershed management studies are expected to increasingly benefit from highly accurate, automated, and real-time analytical capabilities in the future (Bhungeni et al., 2024; Kim et al., 2024; Chatrabhuj et al., 2024; Kumar, 2025; Pokhariya et al., 2023; Rabie et al., 2025; Dhobale & Narkhede, 2024; Göl et al., 2018; Kumar, 2025; Ostanin et al., 2021).

Advantages and Limitations of GIS and Remote Sensing Techniques in the Literature

The literature identifies the principal advantages of Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing (RS) techniques in watershed management as their ability to provide rapid data acquisition over large geographic areas, facilitate the effective monitoring of spatial and temporal changes, offer updatable geospatial databases, and strengthen decision-support processes. In particular, multi-temporal satellite imagery, Digital Elevation Models (DEMs), LiDAR datasets, and high-resolution imagery acquired from unmanned aerial vehicles (UAVs) enable highly accurate analyses of land-use changes, hydrological processes, erosion risks, and natural hazards. These technologies make significant contributions to sustainable watershed planning through applications such as watershed characterization, water resource management, sediment transport modeling, and disaster risk assessment (Ateşoğlu et al., 2019).

The application of GIS and RS techniques in watershed management provides substantial advantages, particularly in the assessment of existing environmental conditions and the monitoring of environmental change. Several studies conducted in Türkiye have demonstrated their effectiveness in diverse watershed management applications. Notable examples include the development of water resource databases for the Konya Closed Basin, the assessment of land-cover changes in the Emine Stream Watershed in Osmancık (Çorum), the evaluation of landslide risks and mining-related impacts in the Galyan Drinking Water Watershed, and the mapping of temporal land-use changes in the Elmalı Watershed. These studies have reported classification and mapping accuracies exceeding 90% through the use of high-resolution satellite imagery and GIS-based analytical approaches, thereby making important contributions to sustainable watershed planning and management. Furthermore, GIS and remote sensing technologies enable the precise determination of watershed characteristics, including watershed area, drainage density, slope gradients, elevation variations, and morphometric parameters, thereby improving the accuracy and reliability of watershed assessments (Tona et al., 2022).

Similarly, studies conducted in watersheds of the Black Sea Region have demonstrated the effective application of GIS and remote sensing techniques in flood, inundation, and landslide analyses. Research carried out in the Söğütlü Stream Watershed in Trabzon, the Filyos River Basin, the Mert River Watershed in Samsun, and the Lake Ladik Basin has focused on the development of flood susceptibility maps, the assessment of water quality variations, and the spatial analysis of landslide risks. Using approaches such as the Analytic Hierarchy Process (AHP), the HEC-RAS model, the Google Earth Engine platform, and weighted overlay techniques, these studies have reported success rates exceeding 95%. Such approaches facilitate the development of more resilient watershed management models against natural hazards and contribute to more effective planning and implementation of watershed management strategies (Yağmur et al., 2020).

Despite their numerous advantages, GIS and remote sensing techniques also possess several limitations. In particular, cloud cover and atmospheric disturbances affecting optical satellite imagery can reduce data quality and negatively impact the continuity of temporal analyses. In humid and high-rainfall regions, persistent cloud cover decreases the frequency of usable observations, making analytical processes more challenging, especially in areas such as the Black Sea Region. Furthermore, imagery with low spatial resolution may lead to reduced accuracy in land-cover classification and topographic analyses. Additional limitations include the high cost of very high-resolution datasets, the

substantial computational resources required for processing large geospatial datasets, and the increased need for specialized technical expertise. These factors may constrain the operational efficiency and accessibility of GIS- and remote sensing-based watershed management applications.

In machine learning and artificial intelligence-based models, uncertainties may arise due to insufficient training datasets, challenges in parameter optimization, and the inability to fully represent complex physical processes within the modeling framework. In particular, algorithms used in hydrological modeling may exhibit varying levels of performance under different climatic and topographic conditions, thereby influencing model accuracy and reliability. Nevertheless, recent advances in deep learning algorithms, cloud-based big-data platforms, and high-performance computing systems have significantly contributed to mitigating many of these limitations.

In the future, the integration of artificial intelligence-driven modeling systems, digital twin technologies, and real-time monitoring networks with GIS and remote sensing platforms is expected to facilitate the development of more advanced decision-support mechanisms for watershed management. In particular, the combined use of Google Earth Engine, SWAT, and deep learning-based analytical approaches has the potential to substantially improve the precision of hydrological process simulations. Studies reported in the literature have demonstrated prediction accuracies approaching 98% in certain applications, indicating that these technologies are likely to become increasingly widespread in future watershed management practices (Göl et al., 2018; Kumar, 2025; Tona et al., 2022).

In conclusion, GIS and remote sensing technologies have evolved beyond their traditional role as supportive tools and have become fundamental components of sustainable watershed resource management. These technologies enable the reduction of natural hazard risks, continuous monitoring of environmental changes, and the development of scientifically based management strategies for the conservation of water and soil resources. Particularly in the context of increasing climate change impacts, the importance of GIS- and remote sensing-based analyses in watershed management continues to grow, positioning these technologies among the indispensable elements of regional planning and environmental management frameworks (Ateşoğlu et al., 2019; Tona et al., 2022; Yağmur et al., 2020; Yıldırım, 2021; Yüksek et al., 2020; Göl et al., 2018; Kumar, 2025).

Discussion and Conclusion

The increasing pressure of global population growth, rapid urbanization, land-use changes, excessive exploitation of natural resources, and the impacts of climate change have made the development of more integrated and scientifically grounded approaches to watershed management an imperative (Kumar, 2025; Göl et al., 2018). In particular, watershed-based planning plays a crucial role in ensuring the sustainable use of water resources, reducing soil degradation and erosion, managing natural hazard risks, and preserving ecosystem services. Within this context, Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing (RS) technologies have emerged as some of the most widely utilized tools for monitoring, assessing, and modeling environmental processes. Advances

in satellite technologies, high-resolution sensor systems, LiDAR applications, and the widespread adoption of unmanned aerial vehicles (UAVs) have enabled the rapid acquisition of multidimensional spatial datasets at the watershed scale with unprecedented levels of accuracy and detail.

GIS and remote sensing techniques provide significant advantages in watershed management, particularly for understanding hydrological processes and identifying environmental changes (Yağmur et al., 2020). These technologies are widely applied in numerous fields, including the monitoring of land-use and land-cover changes, assessment of erosion risks, modeling of sediment transport processes, implementation of flood and landslide susceptibility analyses, and estimation of water quality parameters. In particular, multispectral imagery obtained from satellite platforms such as Landsat, Sentinel, and MODIS, together with Digital Elevation Models (DEMs), enables comprehensive spatial analyses over large geographic areas. Furthermore, LiDAR technology and UAV-based data acquisition systems facilitate the generation of topographic models with centimeter-level accuracy, allowing watershed characteristics to be assessed in considerable detail.

In recent years, the integrated application of machine learning and artificial intelligence-based approaches with GIS and remote sensing technologies has brought about a significant transformation in watershed management studies (Bhungeni et al., 2024; Rabie et al., 2025). Algorithms such as Random Forest (RF), Support Vector Machines (SVM), Artificial Neural Networks (ANNs), and deep learning models have demonstrated high levels of accuracy in land-use classification, flood susceptibility assessment, landslide risk modeling, and water quality prediction. The literature reports accuracy rates exceeding 95% for Random Forest-based models, highlighting their reliability in analyzing complex environmental processes. In addition, the use of cloud-based geospatial platforms such as Google Earth Engine enables the rapid processing of large volumes of satellite data, making near real-time environmental analyses feasible. This capability offers substantial benefits for disaster management applications and the development of effective early warning systems..

Nevertheless, GIS and remote sensing techniques also have several limitations. In particular, cloud cover and atmospheric disturbances affecting optical satellite imagery can reduce data quality and negatively impact the continuity of temporal analyses (Ateşoğlu et al., 2019). This challenge is especially pronounced in humid and high-rainfall climatic regions, where the acquisition of reliable remote sensing data becomes more difficult. In watersheds characterized by persistent precipitation, such as those in the Black Sea Region, cloud cover can significantly restrict the availability of regular satellite observations. Furthermore, low spatial resolution imagery may result in reduced classification accuracy for certain land-cover types and environmental features. The relatively high cost of very high-resolution datasets and the requirement for robust technical infrastructure to process large geospatial datasets also constitute important constraints in practical applications.

In machine learning-based models, the quality and quantity of training data are critical determinants of model performance. Insufficient, incomplete, or imbalanced training datasets may increase prediction errors, particularly in hydrological and environmental modeling applications. In addition, the limited interpretability of certain artificial

intelligence-based models, which often function as “black-box” systems and do not explicitly represent underlying physical processes, remains a significant limitation. Consequently, future research is expected to increasingly adopt hybrid modeling frameworks that combine physically based process models with data-driven artificial intelligence approaches. Such integrated methodologies have the potential to improve both predictive accuracy and model interpretability, thereby enhancing their applicability in watershed management and environmental decision-making.

When studies conducted in Türkiye are examined, it is evident that GIS and remote sensing technologies are extensively applied, particularly in watersheds characterized by high natural hazard risks (Tona et al., 2022). Research carried out in diverse watersheds, including the Konya Closed Basin, the Filyos River Basin, the Söğütlü Stream Watershed in Trabzon, the Mert River Watershed in Samsun, and the Lake Ladik Basin, has demonstrated the effectiveness of these technologies in flood, inundation, landslide, erosion, and water quality analyses. In particular, the Eastern Black Sea Region, characterized by steep slopes, intense precipitation, and complex topography, experiences frequent flood and landslide events, further emphasizing the importance of GIS- and remote sensing-based modeling approaches. These studies facilitate the generation of hazard susceptibility maps, the identification of high-risk areas, and the support of planning processes aimed at sustainable watershed management.

The literature review conducted within the scope of this study demonstrates that GIS and remote sensing technologies serve not only as tools for data acquisition but also as powerful decision-support systems in watershed management. These technologies have been shown to provide high levels of accuracy and effectiveness in applications such as hydrological modeling, monitoring of land-use and land-cover changes, erosion risk assessment, water quality evaluation, and carbon storage analysis. Furthermore, the integration of machine learning algorithms with GIS and remote sensing datasets significantly enhances the precision with which environmental processes can be modeled and predicted.

In the future, artificial intelligence-driven deep learning algorithms, digital twin systems, real-time sensor networks, and cloud-based geospatial processing platforms are expected to become increasingly integrated into watershed management practices. Given the growing impacts of climate change, the development of real-time monitoring and forecasting systems is becoming essential for the effective management of floods, droughts, erosion, and water quality issues. The continued advancement of these technologies will enable faster, more comprehensive, and more accurate analyses, thereby improving the efficiency and effectiveness of watershed management strategies.

In conclusion, GIS, remote sensing, and artificial intelligence-based modeling approaches have become fundamental components of sustainable watershed management. These technologies facilitate the conservation of natural resources, the reduction of disaster risks, the continuous monitoring of environmental changes, and the development of climate change adaptation strategies. With the increasing integration and advancement of these technologies, watershed management is expected to benefit from more scientifically grounded, efficient, and sustainable decision-making frameworks in the future.

References

Ahi, S., & Eymen, A. (2021). Examination of the impact of land use on water basins using geographic information systems and remote sensing: The case of the Terkos Basin. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 46, 15–20.

Ateşoğlu, A., Yavuz Özalp, A., & Daşdemir, İ. (2019). The use of geographic information systems and remote sensing techniques in watershed management. Artvin Çoruh University Journal of Forestry Faculty, 20(2), 145–156. https://doi.org/10.17474/artvinofd.450092

Avcı, C., Budak, M., Yağmur, N., & Balçık, F. (2023). Comparison between random forest and support vector machine algorithms for LULC classification. International Journal of Engineering and Geosciences, 8(1), 1–10. https://doi.org/10.26833/ijeg.987605

Aydınoğlu, A. Ç., & Altürk, G. (2021). Production of landslide susceptibility maps using statistical and machine learning techniques: The Taşlıdere watershed (Rize) case study. Journal of Geography, 43, 159–176. https://doi.org/10.26650/GEOG2021-814561

Beden, N., Soydan-Oksal, N. G., Arıman, S., & Ahmadzai, H. (2023). Delineation of a groundwater potential zone map for the Kızılırmak Delta by using remote-sensing-based geospatial and analytical hierarchy processes. Sustainability, 15(14), 10964. https://doi.org/10.3390/su151410964

Bhungeni, B., Dube, T., & Shoko, C. (2024). Machine learning approaches for watershed management and environmental monitoring. Ecological Informatics, 81, 102715. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102715

Çölkesen, İ., Öztürk, M. Y., & Altuntaş, O. Y. (2024). Comparative evaluation of performances of algae indices, pixel- and object-based machine learning algorithms in mapping floating algal blooms using Sentinel-2 imagery. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 38, 1613–1634. https://doi.org/10.1007/s00477-023-02648-1

Demirağ Turan, İ., Dengiz, O., & Kaya, N. S. (2021). Determination of land cover/land use changes using multi-temporal Landsat satellite imagery: The Çarşamba Delta Plain case study. ÇOMÜ Journal of Agriculture Faculty, 9(1), 141–152. https://doi.org/10.33202/comuagri.857787

Demirbilek, S., & Turoğlu, H. (2024). Landslide susceptibility analysis of the Arsuz Stream watershed using the frequency ratio method. Journal of Geomorphological Research, 13, 23–39. https://doi.org/10.46453/jader.1496249

Demirtaş, İ., & Erpul, G. (2024). Determination of erosion statistics according to land-use types at the national scale using the Dynamic Erosion Model and Monitoring System (DEMIS). Journal of Environment, Urbanization and Climate, 3, 136–155.

Dervişoğlu, A. (2022). Investigation of long- and short-term water surface area changes in coastal Ramsar sites in Turkey with Google Earth Engine. ISPRS International Journal of Geo-Information, 11(1), 46. https://doi.org/10.3390/ijgi11010046

Dursun, İ., & Babalık, A. A. (2025). Evaluation of morphometric characteristics and erosion dynamics in the Isparta Darıdere watershed: Watershed prioritization using the entropy-based WASPAS method. Turkish Journal of Forestry, 26(3), 212–223. https://doi.org/10.18182/tjf.1728707

El-Jamaoui, I., Delgado-Iniesta, M. J., Martínez Sánchez, M. J., Pérez Sirvent, C., & Martínez López, S. (2025). Assessing soil organic carbon in semi-arid agricultural soils using UAVs and machine learning: A pathway to sustainable water and soil resource management. Sustainability, 17(8), 3440. https://doi.org/10.3390/su17083440

Göl, C., Yıldırım, İ., & Göl, A. (2018). The importance of geographic information systems in watershed management. Gümüşhane University Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences, 8(3), 610–621. https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.390482

Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing Technologies in Black Sea Region Watershed Management: Academic Case Studies and Strategic Analysis Report. (2026). Ecology 2026 Conference Preparatory Report.

Karadeniz Technical University (KTÜ). (2022, July 25). Department of Remote Sensing | Geomatics Engineering. https://www.ktu.edu.tr/harita/anabilimdaliuzaktanalgilama

Kazancı, E., Erol, S., & Erol, B. (2025). Investigation of water storage dynamics and delayed hydrological responses using GRACE, GLDAS, ERA5-Land and meteorological data in the Kızılırmak River Basin. Sustainability, 17(22), 10100. https://doi.org/10.3390/su172210100

Kim, K.-M., Lim, J., Choi, S.-E., Cho, N., Seo, M., Lee, S., et al. (2024). Advancement and applications of forest remote sensing in Korea: Past, present, and future perspectives. Korean Journal of Remote Sensing, 40(5–2), 783–812.

Köppl, C. J. (2022). Hyperspectral sensing from unmanned aerial systems for water quality and quantity in terrestrial and aquatic systems (Doctoral dissertation, DTU Environment). DTU Research Database.

Köyceğiz Landslide Susceptibility and Geological–Geotechnical Assessment Report. (2021). Muğla Governorship / Provincial Directorate of Environment, Urbanization and Climate Change.

Kumar, P. (2025). Remote sensing and GIS integration for sustainable watershed management. Journal of Hydrology, 642, 131245. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.131245

Kuru, A., & Tezer, A. (2020). A new approach for delineating drinking water watershed protection boundaries: The Kırklareli Dam drinking water watershed case study. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35(1), 519–536.

Medeiros, B. M., Cândido, B., Jimenez, P. A. J., Avanzi, J. C., & Silva, M. L. N. (2025). UAV-based soil water erosion monitoring: Current status and trends. Drones, 9(4), 305.

Mykrä, H., Annala, M., Hilli, A., Hotanen, J.-P., Hokajärvi, R., Jokikokko, P., Karttunen, K., Kesälä, M., Kuoppala, M., Leinonen, A., Marttila, H., Meriö, L.-J., Piirainen, S., Porvari, P., Salmivaara, A., & Vaso, A. (2023). GIS-based planning of buffer zones for protection of boreal streams and their riparian forests. Forest Ecology and Management, 528, 120639.

Ondokuz Mayıs University (OMÜ). (2023, May 31). OMÜ aims to increase the production of high-quality and affordable meat through the “Artificial Pasture Project”. Anadolu Agency.

https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/omu-yapay-mera-projesi-ile-kaliteli-ve-ucuz-et-uretimini-artirmayi-hedefliyor/2906585

Quinn, N. W. T., Sridharan, V., Ramirez-Avila, J., Imen, S., Gao, H., Talchabhadel, R., Kumar, S., & McDonald, W. (2022). Applications of GIS and remote sensing in public participation and stakeholder engagement for watershed management. Socio-Environmental Systems Modelling, 4, 18149. https://doi.org/10.18174/sesmo.18149

Rabie, A., Hassan, M., & Elbeltagi, A. (2025). Google Earth Engine and artificial intelligence applications in watershed hazard assessment. Science of the Total Environment, 945, 171234. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.171234

Romano, N., Nasta, P., Bogena, H., De Vita, P., Stellato, L., & Vereecken, H. (2018). Monitoring hydrological processes for land and water resources management in a Mediterranean ecosystem: The Alento River catchment observatory. Vadose Zone Journal, 17(1), 1–13. https://doi.org/10.2136/vzj2018.03.0042

Rosot, M. A. D., Maran, J. C., da Luz, N. B., Garrastazú, M. C., de Oliveira, Y. M. M., Franciscon, L., et al. (2018). Riparian forest corridors: A prioritization analysis for the landscape sample units of the Brazilian National Forest Inventory. Ecological Indicators, 93, 501–511. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.071

Samarinas, N., et al. (2020). Effects of integrating GIS platforms with machine learning models on SWAT simulations. (Source cited within the Entepp Full-Text Document).

Sarkar, S. K., & Esraz-Ul-Zannat, M. (2016). GIS and remote sensing techniques for the assessment of the impact of land-use change on runoff. ResearchGate.

Senanayake, S., Pradhan, B., Huete, A., & Brennan, J. (2020). A review on assessing and mapping soil erosion hazard using geo-informatics technology for farming system management. Remote Sensing, 12(24), 4063. https://doi.org/10.3390/rs12244063

Senanayake, S., Pradhan, B., Huete, A., & Brennan, J. (2020). Assessing soil erosion hazards using land-use change and landslide frequency ratio method: A case study of Sabaragamuwa Province, Sri Lanka. Remote Sensing, 12(9), 1483. https://doi.org/10.3390/rs12091483

GDWM (Republic of Türkiye, Ministry of Forestry and Water Affairs, General Directorate of Water Management) (2015). Yeşilırmak Basin Flood Management Plan: Executive Summary. Ankara, Türkiye.

GDWM (Republic of Türkiye, Ministry of Forestry and Water Affairs, General Directorate of Water Management) (2018). Susurluk Basin Flood Management Plan: Executive Summary. Ankara, Türkiye.

GDWM (Republic of Türkiye, Ministry of Forestry and Water Affairs, General Directorate of Water Management) (2024). Project for Updating the Yeşilırmak Basin Flood Management Plan: Strategic Environmental Assessment Draft Scoping Report. Ankara, Türkiye.

Tona, E., Yüksek, T., & Yüksek, F. (2022). Spatial analysis of watershed characteristics using GIS and remote sensing techniques in Türkiye. Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, 72(1), 45–58. https://doi.org/10.17099/jffiu.1029421

Tüfekçioğlu, M., Yıldırım, C., & Duman, A. (2020). Determination of soil loss caused by channel and gully erosion in the Oltu micro-watershed of the Çoruh River Basin using the erosion pin method. Turkish Journal of Forest Science, 4(2), 333–350.

Utlu, M., Ghasemlounia, R., & Demirbilek, S. (2025). Flood susceptibility mapping in the İskenderun Gulf Basins (Türkiye) using morphometric and multivariate techniques. Journal of Geomorphological Research.

Uzun, M., & Garipağaoğlu, N. (2022). Watershed management within the scope of hazard susceptibility analyses of the Göksu Stream Watershed (Sakarya River Basin). Aegean Geographical Journal, 31(2), 449–471. https://doi.org/10.51800/ecd.1160134

Wang, G., Mang, S., Cheng, H., Liu, J., Liu, Z., & Wang, L. (2016). Integrated watershed management: World lessons and further strategies in China. Journal of Resources and Ecology, 7(6), 441–452. https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-764x.2016.06.007

Yağmur, M., Kaya, S., & Yılmaz, O. (2020). GIS and remote sensing applications in flood and landslide risk assessment in the Black Sea Region. International Journal of Progressive Sciences and Technologies, 24(2), 155–168. https://doi.org/10.29132/ijpas.799551

Yıldırım, I., et al. (2021). Management of water resources under the pressure of climate change and population growth: The case of Bartın Province. Bartın Journal of Forestry Faculty, 23(1), 244–253.

Yüksek, T., Özçelik, A. E., & Verep, B. (2020). Determination of selected watershed characteristics and the distribution of land according to physiographic properties in the Fırtına Watershed using geographic information systems. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 5(3), 439–449. https://doi.org/10.35229/jaes.792606

Zengin, M., Özer, S., & Özgül, M. (2009). Determination of erosion conditions in the Çoruh Basin (İspir–Pazaryolu) using GIS and proposed mitigation measures. Atatürk University Journal of Agriculture Faculty, 40(1), 9–19.

BİREYLERİN KARBON VE EKOLOJİK AYAK İZİ FARKINDALIKLARININ DEĞER-İNANÇ-NORM KURAMI ÇERÇEVESİNDE İNCELENMESİ: NİTEL BİR ARAŞTIRMA

Beyza ERTEK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, Türkiye,

Orcid: 0009-0002-5233-3301

Özet

Küresel iklim krizi ve ekolojik tahribatın artması, bireylerin çevresel farkındalık düzeylerini ve günlük yaşam pratiklerini sürdürülebilirlik açısından kritik bir konuma taşımıştır. Bu çalışmanın amacı, bireylerin karbon ve ekolojik ayak izi algılarını, çevre sorunlarına yönelik tutumlarını ve bu tutumların günlük davranışlara yansımalarını Değer-İnanç-Norm (VBN) Kuramı çerçevesinde incelemektir. Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması deseni kullanılmıştır. Çalışma grubu, kolay ulaşılabilir durum örneklemesi ile belirlenen gönüllü 13 katılımcıdan oluşmaktadır. Veriler, on adet yarı yapılandırılmış görüşme soruları aracılığıyla toplanmış; görüşmeler birebir yazıya dökülmüş, betimsel analiz yöntemiyle çözümlenmiş ve bulgular doğrudan alıntılarla desteklenerek sunulmuştur. Araştırma verileri, Değer-İnanç-Norm (VBN) Kuramı doğrultusunda "sonuçların farkındalığı", "sorumluluk atfı", "çevresel normlar" ve "çevre yanlısı davranışlar" olmak üzere dört ana tema altında incelenmiştir. Araştırma bulguları, katılımcıların çevre sorunlarına ilişkin farkındalıklarının ağırlıklı olarak somut ve günlük yaşamda gözlemlenebilir unsurlar üzerinden şekillendiğini göstermektedir. Plastik ve cam atıklar, piknik alanlarındaki kirlilik ve orman yangınları gibi doğrudan deneyimlenen çevresel problemler, katılımcıların çevre algısının temelini oluşturmaktadır. Buna karşın, karbon ayak izi gibi daha teknik ve kavramsal konularda bilgi düzeyinin sınırlı olduğu, ancak kavram açıklandıktan sonra bireysel davranışların çevresel etkilerine yönelik farkındalığın belirgin şekilde arttığı görülmüştür. Katılımcıların çevre sorunlarının çözümüne ilişkin yaklaşımlarında, sorumluluğun büyük ölçüde bireyde olduğu yönünde güçlü bir eğilim dikkat çekmektedir. Devletin tek başına yeterli olmayacağı, asıl değişimin bireylerin tüketim alışkanlıklarını düzenlemesi ve çevresine örnek olmasıyla mümkün olacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, katılımcıların yüksek düzeyde çevresel farkındalık ve sorumluluk bilincine sahip olmalarına rağmen, geri dönüşüm altyapısındaki yetersizlikler ve bilgi eksiklikleri nedeniyle bu bilincin her zaman davranışa dönüşmediği anlaşılmaktadır. Bu durum, bireylerin çevresel değerleri ile günlük pratikleri arasında belirgin bir uyumsuzluk bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca, enerji ve su tasarrufu gibi davranışların çoğunlukla çevresel kaygılardan daha çok ekonomik motivasyonlar doğrultusunda şekillendiği, buna karşın uygun altyapı sağlandığında çevre yanlısı davranışların daha sürdürülebilir hale gelebildiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Karbon Ayak İzi, Ekolojik Ayak İzi, Değer-İnanç-Norm Kuramı, İçsel Kontrol Odağı, Ekolojik Farkındalık, Nitel Araştırma

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel iklim değişikliği, doğal kaynakların hızla tükenmesi, çevre kirliliği ve sürdürülebilirlik sorunları insanlığın karşı karşıya olduğu en önemli çevresel problemler arasında yer almaktadır. Sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı ve tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle birlikte bireylerin çevre üzerindeki etkileri daha görünür hâle gelmiştir (Ehrlich ve Holdren, 1971; Dietz ve Rosa, 1994). Bu süreçte karbon ayak izi ve ekolojik ayak izi kavramları, bireylerin çevreye olan etkilerini değerlendirmede önemli göstergeler olarak kullanılmaktadır. Karbon ayak izi, bireylerin günlük yaşam faaliyetleri sonucunda atmosfere saldığı sera gazı miktarını ifade etmekte iken ekolojik ayak izi, insanların tüketim faaliyetleri doğrultusunda doğa üzerinde oluşturduğu biyolojik üretim alanı talebini ifade etmektedir (Wackernagel ve Rees, 1996; Wiedmann ve Minx, 2008). Bu iki kavram, yalnızca çevresel birer ölçüm aracı değil; bireylerin yaşam tarzlarını sürdürülebilirlik açısından sorgulamalarına zemin hazırlayan birer farkındalık aracıdır.

Son yıllarda çevresel sorunların artmasıyla birlikte bireylerin çevreye yönelik farkındalıkları ve çevre dostu davranışları araştırmacıların dikkatini çekmeye başlamıştır (Kollmuss ve Agyeman, 2002; Miller vd., 2022; Steg ve Vlek, 2009; Zhu vd., 2021). Çevresel farkındalık; bireylerin çevresel sorunları algılaması, bu sorunların nedenlerini anlaması ve çözüm sürecinde sorumluluk hissetmesiyle ilişkilidir (Kollmuss & Agyeman, 2002). Bu farkındalığın somutlaşmış biçimlerinden olan karbon ve ekolojik ayak izi farkındalıkları ise bireylerin enerji tüketimi, ulaşım tercihleri ve sürdürülebilir tüketim alışkanlıkları gibi davranışlarla doğrudan ilişkilendirilmektedir (Amprazis vd., 2023; Steg & Vlek, 2009). Bu bağlamda farkındalık düzeyinin yükselmesinin, bireylerin çevre dostu davranışlara yönelme eğilimini güçlendirdiği ifade edilmektedir (Steg ve Vlek, 2009). Söz konusu farkındalık ve davranış ilişkisini kuramsal düzeyde açıklamaya yönelik çeşitli teorik çerçeveler geliştirilmiş olup bu çalışmada öne çıkan kuramlardan biri Değer-İnanç-Norm (VBN) teorisidir. Paul C. Stern (2000) tarafından geliştirilen bu kurama göre bireylerin çevre dostu davranışları; sahip oldukları değerler, çevresel inançlar ve kişisel normlar doğrultusunda şekillenmektedir, Kuramda bireylerin biyosferik, altruistik ve egoistik değer yönelimlerinin ekolojik dünya görüşünü şekillendirdiği ve bunun çevresel tehdit algısını etkilediği ifade edilmektedir (De Groot ve Steg, 2008). Çevresel tehdit algısı ise bireylerde ahlaki sorumluluk ve kişisel norm geliştirerek çevre yanlısı davranışların ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Wahid vd., 2022). VBN teorisi, bu araştırmada bireylerin karbon ve ekolojik ayak izi farkındalıklarını hangi değer ve inanç örüntüleri aracılığıyla geliştirdiklerini anlamlandırmak için temel kuramsal çerçeve olarak benimsenmiştir.

Bu kuramsal çerçeve doğrultusunda literatürde karbon ve ekolojik ayak izi farkındalığına ilişkin çalışmalar incelendiğinde, araştırmaların ağırlıklı olarak nicel yöntemlere dayandığı görülmektedir. Bu çalışmalar değişkenler arasındaki ilişkileri ortaya koymakla birlikte bireylerin farkındalık ve deneyimlerini derinlemesine anlamlandırmada yetersiz kalmaktadır (Ratcliffe vd., 2024). Bireylerin ayak izi farkındalıklarını hangi değerler

temelinde geliştirdiğinin anlaşılması ise çevre politikaları açısından kritik öneme sahiptir (Amprazis vd., 2023). Bu nedenle nitel yaklaşım, bireylerin motivasyonlarını ve anlam dünyalarını kavramada daha elverişli bir zemin sunmaktadır (Ratcliffe vd., 2024).

Bu doğrultuda araştırmanın amacı, bireylerin karbon ve ekolojik ayak izi farkındalıklarını VBN Kuramı çerçevesinde nitel bir yaklaşımla incelemektir. Araştırmada bireylerin çevresel değerleri, inançları ve kişisel normlarının ayak izi farkındalıklarıyla ilişkisi derinlemesine ele alınmaktadır. Bu ilişkiyi nitel yöntemlerle inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır; bu nedenle araştırmanın hem kuramsal hem de uygulamalı düzeyde alana özgün katkı sunması beklenmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

Bu araştırmada bütüncül tek durum deseni kullanılmıştır. Durum çalışması; bir olguya ilişkin deneyim, algı ve anlamlandırma süreçlerini doğal bağlamında bütüncül biçimde incelemeye olanak tanıyan bir araştırma desenidir (Yin, 2018). Bu desen, kontrol edilemeyen bir olgunun gerçek yaşam koşullarında ele alındığı, nasıl ve neden sorularının öne çıktığı durumlarda tercih edilmektedir. Araştırmada bireylerin çevreye ilişkin değerlendirmeleri ve günlük yaşam pratikleri, Değer-İnanç-Norm Kuramı (Stern, 2000) çerçevesinde ele alınmıştır.

2.1. Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, kolay ulaşılabilir örnekleme yöntemiyle belirlenen 13 gönüllü katılımcı oluşturmaktadır. Bu yaklaşım, zaman ve kaynak kısıtları gözetilerek ulaşılabilir bireylerle yürütülen keşifsel çalışmalarda yaygın biçimde kullanılmaktadır (Etikan vd., 2016). Katılımcı sayısının belirlenmesinde veri doygunluğu ilkesi esas alınmış ve yeni tema ve kodların ortaya çıkmadığı eşiğin 13. katılımcıyla birlikte sağlandığı görülmüştür. Veri doygunluğu, nitel araştırmalarda örneklem yeterliliğini değerlendirmek için yaygın biçimde kullanılan metodolojik bir ölçüttür (Guest vd., 2006). Katılımcılara araştırma öncesinde uygulanan demografik bilgi formu aracılığıyla yaş, cinsiyet ve eğitim durumuna ilişkin veriler toplanmıştır. Katılımcılar farklı yaş, cinsiyet ve eğitim düzeylerine sahip olup çeşitli bakış açılarını yansıtmaktadır. Araştırmaya katılım gönüllülük esasına dayanmış, kişisel bilgilerin gizliliği korunmuş ve katılımcılar K1, K2, K3 şeklinde kodlanmıştır.

2.2. Veri Toplama Aracı ve Süreci

Araştırma verileri, araştırmacı tarafından geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla toplanmıştır. Yarı yapılandırılmış görüşmeler; önceden belirlenmiş soruların esneklikle uygulanmasına olanak tanıması ve katılımcıların deneyimlerini kendi ifadeleriyle aktarabilmesi bakımından nitel araştırmalarda tercih edilen bir veri toplama yöntemidir (Kvale ve Brinkmann, 2015). Görüşme formunun geliştirilmesinde ilgili literatür incelenmiş, iki uzman akademisyenin görüşü alınmış ve gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Form; farkındalık düzeyleri, sorumluluk algıları ve günlük davranışları ele alan on açık uçlu sorudan oluşmaktadır.

Görüşmeler, katılımcıların uygun olduğu zamanlarda yüz yüze gerçekleştirilmiş; her bir görüşme ortalama 13–15 dakika sürmüştür. Görüşmeler ses kaydına alınmış ve araştırmacı tarafından birebir yazıya aktarılmıştır.

2.3. Veri Analizi

Araştırmada elde edilen veriler, VBN Kuramının kavramsal çerçevesi temel alınarak yönlendirilmiş içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir. Yönlendirilmiş içerik analizinde analiz süreci mevcut bir kuram veya kuramsal çerçeve doğrultusunda yönlendirilmektedir ve veriler önceden belirlenen kavramsal kategoriler aracılığıyla kodlanmaktadır. Bu yaklaşım, kuramsal çerçeveleri sınamak ya da genişletmek amacıyla gerçekleştirilen araştırmalarda sıkça tercih edilmektedir (Hsieh ve Shannon, 2005). Analiz dört aşamada yürütülmüştür: (1) görüşme kayıtlarının yazıya aktarılması; (2) dört ana temanın oluşturulması: 'sonuçların farkındalığı', 'sorumluluk atfı', 'çevresel normlar' ve 'çevre yanlısı davranışlar'; (3) ifadelerin temalar altında kodlanması; (4) bulguların doğrudan alıntılarla desteklenerek raporlanması. Güvenirlik için görüşmeler birebir yazıya aktarılmış, araştırma süreci ayrıntılı biçimde kayıt altına alınmış ve araştırmacının ön yargıları yansıtıcı bir tutumla değerlendirilmiştir (Creswell ve Poth, 2018).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde 13 katılımcıdan elde edilen görüşme verileri VBN Kuramının dört temel bileşeni çerçevesinde sunulmakta ve ilgili literatürle karşılaştırmalı olarak tartışılmaktadır. Bulgular Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. VBN Kuramına Göre İçerik Analizi ve Kodlama Tablosu

Kategori (VBN Kuramı)	**Tema**	**Kod**	**Frekans (f)**
1. Sonuçların Farkındalığı	Gözlemlenen Kirlilik	Piknik alanlarındaki plastik/cam atıkları	13
	Görünmeyen Maliyetler	Yapay zekanın yüksek su tüketimi ve dijital ayak izi	1
	Kavramsal Bilgi	"Karbon Ayak İzi" kavramını bilmeme	9
2. Sorumluluk Atfı	İçsel Kontrol Odağı	Devlet her yere yetişemez, önce millet temiz tutmalı	8
		Yanlış yapanları uyarma ve müdahale etme	5
3. Çevresel Normlar	Biyosferik Değer	Hayvanların/canlıların yaşam hakkına saygı	6
	Ekonomik Norm	İsraftan kaçınma ve tasarruf (fatura odaklı)	6
4. Çevre Yanlısı Davranış	Geri Dönüşüm Engeli	Altyapı/bilgi eksikliği nedeniyle çöpe atma	7
	Tüketim Pratikleri	Yerli ürün ve doğal gıda tercihi	9

Not: Katılımcılar birden fazla koda giren ifadeler kullandığı için toplam frekanslar 13'ten bağımsızdır.

3.1. Sonuçların Farkındalığı ve Teknolojik Eleştiri

Katılımcıların tamamı çevre kirliliğini somut ve gündelik gözlemler üzerinden tanımlamıştır. Piknik alanlarındaki plastik ve cam atıklar, sigara izmaritleri ve kaldırımdaki çöpler en sık dile getirilen kirlilik biçimleri olmuştur. K1 bu durumu "İçtikleri gazoz, kola şişelerini cam olan şişeleri ormana atıyorlar. O güneş ışınıyla orman yangınlarına sebep oluyor" sözleriyle ifade ederken, K12 kirliliği "karbonmonoksit gazının fazla olması, fabrika bacalarından çıkan dumanlar" olarak tanımlamıştır. Bununla birlikte katılımcıların dokuzunun karbon ayak izi kavramına aşina olmadığı dikkat çekmektedir.

Bu bulgu, çevresel sorunlara ilişkin gözlem kapasitesinin kavramsal çerçeveyle her zaman örtüşmediğine işaret etmektedir. VBN kuramı çerçevesinde değerlendirildiğinde, katılımcıların "sonuçların farkındalığı" boyutunda güçlü ama dar kapsamlı bir algıya sahip oldukları görülmektedir. Kirlilik doğrudan gözlemlenebilir olmakla birlikte sistemik ve küresel boyutları kavramsal düzeyde tam olarak içselleştirilmemiştir (Stern, 2000). Türkiye'de benzer bir örneklemle yürütülen çalışmada da çevresel farkındalık ile karbon ayak izi bilgisi arasında anlamlı bir boşluk saptanmış; çevre eğitiminin yalnızca davranışsal değil kavramsal okuryazarlığı da hedeflemesi gerektiği vurgulanmıştır (Bülbül vd., 2020). Bu bulgu, Kollmuss ve Agyeman'ın (2002) bilgi ile davranış arasındaki boşluğu açıklarken ortaya koyduğu bilgi–davranış boşluğu kavramı ile de örtüşmektedir: bireyler çevresel sorunların farkında olabilirken bu farkındalık her zaman çevre dostu davranışa dönüşmemektedir.

Araştırmanın en özgün farkındalık bulgusu teknolojik gelişmelerin "görünmeyen" ekolojik maliyetlerine dikkat çeken K2'den gelmiştir. Lise mezunu olan K2, yapay zekanın yoğun su tüketimine yol açtığını dile getirmiştir: "Mesela GPT gibi ya da yapay zekaların... çok sık kullanıldığı taktirde suyu çok şey yaptıkları için, su üretimi fazla olduğu için bunlarda kötü sonuçlara da yol açabilir." Bu bulgu literatürde henüz yeterince ele alınmamış bir farkındalık boyutunu gündeme getirmektedir. Dijital teknolojilerin ekolojik ayak izi üzerindeki etkisi son yıllarda araştırmacıların gündemine taşınmış; veri merkezlerinin ve yapay zekâ altyapılarının ciddi enerji ve su tüketimine yol açtığı ortaya konulmuştur (Li vd., 2023). Düşük eğitim düzeyine sahip bir bireyin bu boyutu fark etmiş olması, çevre farkındalığının eğitim düzeyiyle doğrusal bir ilişki içinde olmadığını düşündürmektedir.

3.2. Sorumluluk Atfı: Birey-Devlet Gerilimi

Katılımcılar, sorumluluk atfı boyutunda belirgin bir içsel kontrol odağı sergilemiştir. Devletin tek başına yeterli olmayacağı ve asıl çözümün bireysel bilinçte yattığı görüşü öne çıkmıştır. K3 "Devlet her tarafa yetişemez, önce millet olması lazım... Devlet hiç kimseyi zorla temizleyemez" derken; K5 "Her şeyi devletten beklemiycen, kendin de yapacaksın, vatandaşa da iş düşüyor" ifadesini kullanmıştır.

Bu bulgular, içsel çevresel kontrol odağının çevre yanlısı davranışlarla güçlü biçimde ilişkili olduğunu gösteren çalışmalarla örtüşmektedir (Pavalache-Ilie ve Unianu, 2012). Bireysel sorumluluk atfının pro-çevresel normları ve davranışları güçlendirdiği, buna karşın sorumluluğun hükümete yüklenmesinin bireysel eylem motivasyonunu zayıflattığı bilinmektedir (Schwartz, 1977; Stoll-Kleemann ve O'Riordan, 2020). Türkiye'de yapılan araştırmalar, çevresel tutumların çevresel sorumluluk davranışına dönüşmesinde

ekonomik sorumluluğun aracılık rolü oynadığını; buna karşılık yasal sorumluluğun anlamlı bir aracılık etkisi göstermediğini ortaya koymuştur (Değirmenci, 2022). Bu bulgudaki güçlü bireysel sorumluluk atfı, söz konusu genel eğilimin aksine bir tablo ortaya koymakta ve örneklemin özgün yapısını yansıtmaktadır.

Sorumluluğu kendi üzerine alan katılımcılar, çevrelerinde yanlış yapanları uyarma konusunda da aktif bir tutum benimsemiştir. K11 "Çevresinde çevreyi korumayan insan varsa tabiki onları sürekli ikaz etmeli" ifadesini kullanırken; K9 etraftakileri uyarmanın bir vatandaşlık görevi olduğunu vurgulamıştır. Bu bulgu, VBN kuramındaki kişisel norm aktivasyonunun bireysel davranışın ötesine geçerek toplumsal bir boyut kazandığını ortaya koymaktadır (Wahid vd., 2022). Devletten beklenti ise kurumsal altyapı sağlanması yönünde şekillenmiştir. K10 geri dönüşüm kutularının yakın mesafelere yerleştirilmesini talep ederek yapısal teşviklerin davranış üzerindeki belirleyiciliğine dolaylı olarak işaret etmiştir.

3.3. Çevresel Normlar ve Tüketim Pratikleri

Katılımcıların çevresel normları hayvanların ve canlıların yaşam hakkına duyulan saygı temelinde biyosferik bir değer yönelimi ve fatura tasarrufu gibi ekonomik kaygılar temelinde araçsal bir norm olmak üzere iki farklı kaynak üzerinden şekillenmiştir. Enerji ve su kullanımında çevresel değerlerden ziyade ekonomik normların eyleme yön verdiği görülmüştür. K6 gereksiz lambalar ve televizyonları kapattığını belirtirken; K4 suyun önemini "su da yaparım, suda tasarruf yaparım çünkü su geleceğimiz" sözleriyle ifade etmiştir.

Bu bulgu, biyosferik değerlerden ziyade ekonomik ve araçsal normların enerji davranışlarına rehberlik ettiğini göstermektedir. Steg ve De Groot'un (2012) düşük maliyetli durumlarda ekonomik normların çevre dostu davranışı tetikleyebileceği tespiti bu sonuçla örtüşmektedir. Türkiye bağlamında da benzer bulgular raporlanmıştır. Türk tüketicilerinde tasarruf davranışlarının ekonomik kaygılar tarafından yönlendirildiği ve çevresel kaygıların bu motivasyonun gerisinde kaldığı saptanmıştır (Dursun ve Belit, 2017). Bu durum, çevre politikalarında ekonomik teşvikler ile çevresel değerlerin birlikte ele alındığı bütüncül yaklaşımlara olan ihtiyacı göstermektedir.

Tüketim pratikleri boyutunda ise katılımcıların önemli bir kısmının doğal ve yerli ürün tercihine yöneldiği dikkat çekmektedir. K4 ambalajlı ürünlerden kaçındığını belirtirken; K3 ürün seçiminde "Türk malı olmasına dikkat ediyoruz" ifadesini kullanmıştır. Bu bulgular; bireylerin tüketim tercihlerini hem çevresel hem de toplumsal değer yönelimleriyle şekillendirdiğini ortaya koymakta ve VBN kuramındaki altruistik ile biyosferik değerlerin tüketim davranışlarına yansıdığını desteklemektedir (De Groot ve Steg, 2008). Bununla birlikte yerlilik ve doğallık vurgusunun her zaman bilinçli bir çevresel tercih olmadığı, zaman zaman milliyetçi ya da ekonomik güdülerle iç içe geçtiği göz ardı edilmemelidir.

3.4. Değer-Eylem Boşluğu ve Altyapı Engelleri

Katılımcılarda çevreyi koruma niyeti güçlü olmakla birlikte bu niyetin eyleme dönüşmesindeki en büyük engel yetersiz altyapı olarak öne çıkmıştır. K12, biriktirdiği atık yağları dökecek yer bulamadığı için çöpe atmak zorunda kaldığını aktarmıştır: "Atık yağları biriktiriyorum, kavanoz içerisinde biriktiriyorum fakat nereye verileceğini

bilmediğim için çöpe bırakıyorum." Bu bulgu; değerler ile eylem arasındaki boşluğun bireysel isteksizlikten değil yapısal kısıtlardan beslendiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Shove (2010), çevre dostu davranışı engelleyen faktörlerin büyük bölümünün bireysel tutum ve bilginin ötesinde kurumsal ve altyapısal kısıtlamalardan kaynaklandığını vurgulamaktadır. Bu tespit söz konusu bulguyu doğrudan desteklemektedir. Altyapı eksikliğinin geri dönüşüm davranışını kısıtladığı ve katılımcıların yapısal teşvik olmaksızın davranışlarını sürdürmekte güçlük çektiği Zhang vd. (2016) tarafından da ampirik olarak gösterilmiştir. Türkiye bağlamında ise geri dönüşüm bilgisinin artmasına karşın bu artışın davranışa yansımadığı ve bireylerin geri dönüşüm sorumluluğunu giderek daha fazla kurumsal aktörlere yüklediği görülmektedir (Bayraktar ve Çobanoğlu, 2016).

Modern altyapıya erişimi kısıtlı olan katılımcılar döngüsel ekonomiyi geleneksel ve yerel yöntemlerle sürdürmektedir. K9 "yemek artığını köpeklere veriyorum, çocuklarımın giysileri büyüğün kıyafeti küçüğe oluyorsa ona giydiriyorum" sözleriyle bu geleneksel yaklaşımı örneklendirirken; K3 kullanılmaz hâle gelen eşyaları hurda toplayıcılara verdiğini belirtmiştir. Buna karşın altyapının mevcut olduğu koşullarda çevre dostu davranışın kalıcılaştığı da gözlemlenmiştir; K13 işyerinde plastik, kâğıt ve kumaş kutularını bilinçli biçimde kullandıklarını aktarmıştır. Bu son bulgu, yapısal teşviklerin VBN kuramındaki kişisel norm aktivasyonunu eyleme dönüştürmede kritik bir işlev üstlendiğini ve altyapının salt lojistik bir mesele olmadığını, aynı zamanda değer-davranış köprüsünü kuran bir etken olduğunu açıkça ortaya koymaktadır (Guagnano vd. 1995).

Araştırmanın bulgularını bir bütün olarak değerlendirdiğimizde, VBN Kuramının bireylerin karbon ve ekolojik ayak izi farkındalıklarını açıklamada işlevsel bir çerçeve sunduğu görülmektedir. Katılımcılar çevresel sorunları somut gözlemler üzerinden tanımlamış, sorumluluğu büyük ölçüde bireysel düzlemde konumlandırmış ve çevre dostu davranışlarını hem biyosferik değerler hem de ekonomik normlar aracılığıyla geliştirmiştir. Bununla birlikte, yüksek farkındalık ve niyet düzeyine karşın altyapı eksikliklerinin davranışa dönüşümü engellediği görülmüştür. Bu durum, bireysel değer ve normların çevre dostu davranışı tek başına yeterince açıklamadığına; yapısal ve kurumsal koşulların da belirleyici bir rol üstlendiğine işaret etmektedir.

Bu araştırmanın bazı sınırlılıkları göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışma, kolay ulaşılabilir örnekleme yöntemiyle belirlenen 13 katılımcıyla yürütülmüş olup bulgular genelleştirilebilir nitelik taşımamaktadır. Katılımcıların büyük çoğunluğunun belirli bir coğrafi bölgeden seçilmiş olması, farklı sosyoekonomik ve kültürel bağlamlara ilişkin çeşitliliği kısıtlamaktadır. Ayrıca yarı yapılandırılmış görüşmelere dayalı veriler, sosyal beğenirlik etkisine açık olabilir; katılımcılar gerçek davranışlarından ziyade ideal davranış kalıplarını aktarmış olabilir. Son olarak, araştırmanın kesitsel niteliği, zaman içindeki değişimlerin ve uzun vadeli davranış örüntülerinin izlenmesine olanak tanımamaktadır. İlerideki çalışmaların daha geniş ve çeşitlendirilmiş örneklemlerle, boylamsal desenlerle ve nicel yöntemlerle desteklenerek yürütülmesi, bu sınırlılıkların aşılmasına katkı sunacaktır.

4. KAYNAKLAR

Amprazis, A., Galanis, N., Malandrakis, G., Panaras, G., Papadopoulou, P., & Galli, A. (2023). The ecological footprint of Greek citizens: main drivers of consumption and influencing factors. *Sustainability*, *15*(2), 1377. https://doi.org/10.3390/su15021377

Bayraktar, S., & Çobanoğlu, E. (2016). Türkiye'de geri dönüşüm: 2006 ve 2012 yılları arasında tüketici motivasyonu, tutum ve davranışlarının karşılaştırmalı analizi. *Akdeniz İİBF Dergisi, 16*(33), 1–33.

Bülbül, H., Büyükkeklik, A., Topal, A., & Özoğlu, B. (2020). The relationship between environmental awareness, environmental behaviors, and carbon footprint in Turkish households. *Environmental Science and Pollution Research, 27*(20), 25009–25028. https://doi.org/10.1007/s11356-020-08813-1

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (4th ed.). SAGE Publications.

De Groot, J. I. M., & Steg, L. (2008). Value orientations to explain beliefs related to environmental significant behavior: how to measure egoistic, altruistic, and biospheric value orientations. *Environment and Behavior*, *40*(3), 330–354. https://doi.org/10.1177/0013916506297831

Değirmenci, B. (2022). Çevresel tutum ile çevresel sorumluluk ilişkisinin incelenmesi: yasal ve ekonomik sorumluluğun aracılık rolü. *Alanya Akademik Bakış, 6*(1), 1703–1718. https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.1015679

Dietz, T., & Rosa, E. A. (1994). Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. *Human Ecology Review*, *1*(2), 277–300. https://www.jstor.org/stable/24706840>

Dursun, İ., & Belit, M. (2017). Bir sosyal pazarlama hedefi olarak enerji tasarrufu: tasarruf yöntemleri kullanımına yönelik bir ölçek önerisi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10*(3), 130–153. https://doi.org/10.25287/ohuiibf.301050

Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of population growth. *Science, 171*(3977), 1212–1217. https://doi.org/10.1126/science.171.3977.1212

Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics, 5*(1), 1–4.

Guagnano, G. A., Stern, P. C., & Dietz, T. (1995). Influences on attitude-behavior relationships: a natural experiment with curbside recycling. *Environment and Behavior, 27*(5), 699–718. https://doi.org/10.1177/0013916595275005

Guest, G., Bunce, A., & Johnson, L. (2006). How many interviews are enough? an experiment with data saturation and variability. *Field Methods*, 18(1), 59–82. https://doi.org/10.1177/1525822X05279903

Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative Health Research*, 15(9), 1277–1288. https://doi.org/10.1177/1049732305276687

Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, *8*(3), 239–260. https://doi.org/10.1080/13504620220145401

Kvale, S., & Brinkmann, S. (2015). InterViews: learning the craft of qualitative research interviewing (3rd ed.). SAGE Publications.

Li, P., Yang, J., Islam, M. A., & Ren, S. (2023). Making AI less 'thirsty': uncovering and addressing the secret water footprint of AI models. arXiv:2304.03271.

Miller, L. B., Rice, R. E., Gustafson, A., & Goldberg, M. H. (2022). Relationships among environmental attitudes, environmental efficacy, and pro-environmental behaviors across and within 11 countries. *Environment and Behavior*, *54*(7–8), 1063–1096. https://doi.org/10.1177/00139165221131002

Pavalache-Ilie, M., & Unianu, E. M. (2012). Locus of control and the pro-environmental attitudes. *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 33, 198–202. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.01.111

Ratcliffe, E., Ogunbode, C., Wilkie, S., Jones, C. R., Devine-Wright, P., Uzzell, D., Canter, D., Korpela, K., Pinto de Carvalho, L., & Staats, H. (2024). On the importance of qualitative research in environmental psychology. *Journal of Environmental Psychology*, *93*, Article 102199. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.102199

Schwartz, S. H. (1977). Normative influences on altruism. *Advances in Experimental Social Psychology, 10*, 221–279. https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60358-5

Shove, E. (2010). Beyond the ABC: climate change policy and theories of social change. *Environment and Planning A, 42*(6), 1273–1285. https://doi.org/10.1068/a42282

Steg, L., & De Groot, J. I. M. (2012). Environmental values. In S. D. Clayton (Ed.), The Oxford handbook of environmental and conservation psychology (pp. 81–92). Oxford University Press.

Steg, L., & Vlek, C. (2009). Encouraging pro-environmental behaviour: an integrative review and research agenda. *Journal of Environmental Psychology*, *29*(3), 309–317. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.10.004

Stern, P. C. (2000). New environmental theories: toward a coherent theory of environmentally significant behavior. *Journal of Social Issues*, *56*(3), 407–424. https://doi.org/10.1111/0022-4537.00175

Stoll-Kleemann, S., & O'Riordan, T. (2020). Revisiting the psychology of denial concerning low-carbon behaviors: from moral disengagement to generating social change. *Sustainability, 12*(3), 935. https://doi.org/10.3390/su12030935

Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth*. New Society Publishers.

Wahid, N. A., Syed Fadzil, S. F., & Kamalul Ariffin, S. (2022). Influences of problem awareness, awareness of consequences and ascription of responsibility on consumer's personal norm to prevent water wastage behavior. *Environment and Ecology Research*, *10*(2), 275–283. https://doi.org/10.13189/eer.2022.100217

Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A definition of 'carbon footprint'. In C. C. Pertsova (Ed.), *Ecological economics research trends* (pp. 1–11). Nova Science Publishers.

Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE Publications.

Zhang, S., Zhang, M., Yu, X., & Ren, H. (2016). What keeps Chinese from recycling: accessibility of recycling facilities and the behavior. *Resources, Conservation and Recycling, 109*, 176–186. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.02.008

Zhu, C., Tong, P., & Song, Z. (2021). A bibliometric and visual analysis of environmental behavior research. *Sustainability*, *13*(18), 10338. https://doi.org/10.3390/su131810338

AĞAÇLANDIRMA SAHALARININ İZLENMESI VE ORMANLAŞTIRMA BAŞARISININ ANALIZI

Saadet İŞLEK

[1]Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Botanik,Çanakkale, Türkiye, Orcid: 0000-0003-2623-3083,

Özet

Ekolojik restorasyon ve ormanlaştırma çalışmalarının başarısı, sahaya dikilen fidanların gelişim performanslarına bağlıdır. Klasik orman envanteri ve izleme çalışmalarında fidanların yalnızca "sağlıklı" veya "ölü" olarak ikili bir sınıflandırmaya tabi tutulması, sahanın gelecekteki verimliliğini ve ekolojik dinamiklerini öngörmede yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada, Çanakkale ve Tekirdağ bölgesinde 350.000'den falza Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) fidanının dikildiği üç farklı ağaçlandırma sahasında yürütülen 5 yıllık detaylı izleme verileri üzerinden, sahaların gelişim başarısını ölçen yeni bir "İkili Projeksiyon Yöntemi" sunulmaktadır.

Çalışma kapsamında periyodik olarak rastgele 10x10 metrelik örnek alanlardaki fidanlar; "sağlıklı", "ölü" ve çevresel faktörler nedeniyle gelişim geriliği gösteren "güçsüz/stresli" bireyler olarak üç ana kategoride kayıt altına alınmıştır. Geliştirilen modelleme kurgusunda alan ağaçlandırma başarısı ve verimliliği, güçsüz fidanların ekolojik toleranslarına bağlı olarak iki farklı senaryo üzerinden hesaplanmıştır. İyimser Senaryo'da; güçsüz fidanların ekolojik denge içerisinde toparlanarak sağlıklı kalmayı başardığı öngörülmüş ve bu fidanlar "sağlıklı fidan" sayısına eklenerek alanın maksimum başarı yüzdesi ortaya çıkarılmıştır. Kötümser Senaryo'da ise; stres altındaki bu fidanların zamanla kuruyarak öleceği öngörülmüş, elde edilen rakamlar "ölü fidan" hanesine eklenerek alanın minimum verimlilik (başarısızlık) eşiği hesaplanmıştır.

Bu temel matematiksel kurgu sonucunda, her bir sahanın ağaçlandırma başarısı tek bir mutlak rakam yerine, çevresel riskleri ve iyileşme potansiyellerini barındıran gerçekçi bir verimlilik aralığı olarak tespit edilmiştir. Geliştirilen bu yöntem, ekoloji ve ormancılık literatürüne sahadaki fidan stresini matematiksel bir başarı projeksiyonuna dönüştüren pratik ve öngörücü bir izleme modeli önermektedir.

Çalışma kapsamında üç farklı lokasyonda (Kızılkeçili, Yukarıkılıçlı, Kızılcaterzi) toplam 392.610 adet fidan dikimi gerçekleştirilmiştir. Bu alanlarda her gözlem periyodunda belirlenen 10'ar adet sabit örnek alan üzerinden fidanların sağlık durumları detaylı olarak kayıt altına alınmıştır. Geliştirilen ikili projeksiyon modeliyle, her sahanın ekolojik potansiyelini yansıtan maksimum ve minimum ağaçlandırma başarı oranları hesaplanmıştır. Bulgulara göre; en yüksek performansı sergileyen Kızılkeçili sahasında iyimser (pozitif) senaryoda %97.82 (83.147 etkili fidan), kötümser (negatif) senaryoda ise %94.60 (80.410 etkili fidan) başarı oranına ulaşılmıştır. Yukarıkılıçlı sahasında bu başarı projeksiyonu maksimum %93.33 ile minimum %88.05 arasında ölçülmüştür. Toprak drenajı ve kuraklık stresine bağlı olarak güçsüz fidan yoğunluğunun en fazla

olduğu Kızılcaterzi sahası ise, iki senaryo arasındaki makasın en çok açıldığı alan olmuş; iyimser projeksiyonda %78.21 olan başarı oranı, kötümser projeksiyonda %62.68 seviyesine gerilemiştir. Geliştirilen bu senaryo standart metodolojik hesaplamaların yanı sıra, stres altındaki fidanların alanın gelecekteki verimliliğine olası etkilerini somut sayısal sınırlarla ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Ekolojik Restorasyon, *Pinus brutia*,, Ağaçlandırma İzlemesi

Giriş

Ağaçlandırma ve ekolojik restorasyon projeleri, orman alanlarının genişletilmesi ve iklim değişikliği etkilerinin hafifletilmesi süreçlerinde kritik bir role sahiptir (Yao et al., 2014; Barlow et al., 2016; Griscom et al., 2017; Sandker et al., 2017; Lee et al., 2023;). Ancak bu projelerin uzun vadeli başarısı, dikim sonrası hayatta kalma oranlarının, meşcere gelişiminin ve çevresel adaptasyonun sistematik bir biçimde izlenmesine bağlıdır. Bilimsel literatür incelendiğinde, ağaçlandırma çalışmalarının hedefine ulaşması için birbiriyle ilişkili üç temel unsurun entegre edildiği görülmektedir: İlk olarak, ağaçlandırma yapılacak alanların doğru belirlenmesi (Sobanski and Marques, 2014; Scholten et al., 2017), ikinci olarak, orman ve arazi kullanımına dair geleceğe yönelik senaryoların simüle edilmesi ve son olarak, projenin başarısını somut olarak ölçebilmek adına ağaçların veya sahanın hayatta kalma ya da gerileme durumlarının dinamik olarak modellenmesidir (Vance and Geoghenan 2002; Greenberg et al. 2005; An and Brown, 2008; Wang et al., 2013)

Alan seçiminin ardından, plantasyon alanlarındaki başarının ölçülmesi nicel hayatta kalma metriklerine dayanır. Ormanların bozulmadan kalma olasılığını ve ormansızlaşma risklerini tahmin etmek için Weibull hayatta kalma analizi gibi yöntemler kullanılmaktadır (Dhakal vd., 2023). Meşcere düzeyinde ise, ağaçların boyutu ve son dönemdeki büyümesine bağlı hayatta kalma fonksiyonları dinamik vejetasyon modellerine entegre edilmektedir. (Vanoni vd., 2019) Günümüzde izleme teknolojilerinin gelişmesiyle, uzaktan algılama verileri ve vejetasyon indeksleri kullanılarak makine öğrenmesi algoritmalarıyla plantasyon alanlarındaki hayatta kalma oranı tahminleri başarıyla yapılabilmektedir (Rathore, 2024)

Sahadan toplanacak verilerin doğruluğu ve elde edilen bu tahminlerin istatistiksel geçerliliği ise doğrudan saha örnekleme tasarımının kalitesine bağlıdır. Ağaçlandırma alanlarında yürütülecek izleme çalışmalarında örneklem alan boyutu, örnekleme tasarımı ve örneklem büyüklüğünün; alan, biyokütle veya tür zenginliği gibi tahminlerin kabul edilebilir güven aralıklarına sahip olmasını sağlayacak şekilde seçilmesi zorunludur. Klasik bir istatistiksel yaklaşım, veri setinin normal dağılım göstermesini sağlayan bir örneklem alan boyutu belirleyip, ortalamaya ait güven aralığı yeterince daralana kadar örneklem büyüklüğünü artırmaktır (Rice, 1967).

Bu sistematik uygulamaların genelinde ormanlaştırma çalışmalarının ve arazi kullanımının farkı, uygulanan türlerin çeşitliliği, uygulama alanlarındaki topografik farklar ve çeşitli floristik desenler her bir analizi özel kılmaktadır. Başarılı ve sürdürülebilir bir ağaçlandırma izleme çerçevesi oluşturmak için; mekansal sahaların doğru modellenmesi, uzaktan algılama destekli senaryolar ve istatistiksel açıdan sağlam temellere oturan arazi izleme yöntemlerinin bir araya getirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, ağaçlandırma sahalarında uzun vadeli izleme süreçleri değerlendirilmiş, elde edilen ormanlaştırma başarı ölçütleri klasik gözlem yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Gözlem çalışmaları esnasında uygulama yapılan örneklem alanlar ve sayısal kaydı alınan bireyler farklı perspektiflerle yeniden yorumlanmıştır. Çalışma sonucunda iligili araştırmacıların ve saha personellerinin pratik olarak kullanılabilecekleri bunun yanı sıra gerekli görüldüğünde modern tekniklerle sentezlenebilir bir yöntem önerisi sunulmuştur.

Materyal ve Metot

Genç fidanların gelişiminin izlenmesi ve ağaçlandırma sürecinin değerlendirilmesi, yeniden ağaçlandırma ve restorasyon projelerinin başarısını güvence altına almak açısından kritik öneme sahiptir. Doğrudan sayım, boy ölçümü ve hayatta kalma (yaşama yüzdesi) değerlendirmesi gibi geleneksel sahaya dayalı yöntemler uzun zamandır kullanılmaktadır.

Bu çalışmada 2020-2023 yılları arasında Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından dikimi gerçekleştirilen 392.610 adet fidanın Çanakkale ve Tekirdağ illerindeki dört farklı sahada gözlemleri gerçekleştirilmiştir (*Tablo 1*). Araştırma, Marmara Bölgesi sınırları içerisinde yer alan Tekirdağ ve Çanakkale illerindeki toplam 175 hektarlık (ha) dört farklı ağaçlandırma sahasında yürütülmüştür. Bu kapsamda, Tekirdağ ilinde Yukarıkılıçlı (23 ha) ve Kızılcaterzi (34,5 ha) lokasyonları; Çanakkale ilinde ise Kızılkeçili (67 ha) ve Kemel (50,5 ha) mevkiindeki ağaçlandırma alanları çalışma sahası olarak izleme çalışmalarına dahil edilmiştir. Dikim sonrası fidanların sahaya adaptasyon süreçlerini ve erken dönem ekolojik gelişimlerini yakından takip edebilmek amacıyla arazi gözlemleri Ocak 2022 itibarıyla başlatılmıştır. İzleme takvimi, fidanların ilk yıllardaki çevresel stres faktörlerine karşı olan hassasiyetleri göz önünde bulundurularak zamanla azalan bir sıklıkta planlanmıştır. Bu doğrultuda metodolojik olarak; ağaçlandırmayı takip eden birinci yıl içerisinde üç adet, ikinci yıl içerisinde iki adet ve bir tam yıl aradan sonra üçüncü yılda bir adet olmak üzere toplam altı periyodu kapsayan standart bir izleme ve değerlendirme takvimi oluşturulmuştur.

Tablo 1 Alanlara Dikilen Fidan Sayıları

Uygulama Alanları	**Alanlara Dikilen Fidan Sayısı**
Kızılkeçeli	85.000
Kemel	65000 + **100.000**
Yukarıkılıçlı	38.000 + **6.600** + **4.000** + **3.500**
Kızılcaterzi	45.000 + **10.510** + **20.000** + **15.000**
Toplam	**392.610**

Bu çalışmada, ağaçlandırma sahalarındaki fidan gelişiminin ve bitki komünitesinin nicel olarak incelenmesinde temel bir ekolojik izleme metodu olan örneklem alan (kuadrat örnekleme) yöntemi kullanılmıştır. Kuadrat yöntemi, araştırılan habitattaki

organizmaların belirli bir örneklem alanı içerisinde doğrudan sayılması esasına dayanır (Saleem vd., 2019; Siddiqui vd., 2020)

Veri toplama aşamasında; sahalar boyunca belirlenen transekt hatları üzerine dağınık şekilde yerleştirilen 10 adet 10 x 10 metre ölçüsünde sabit örneklem alan içerisindeki her bir birey; "Sağlıklı", "Ölü" ve "Güçsüz (Stresli)" olmak üzere üç ayrı kategoride sınıflandırılmıştır. Çalışmanın analiz aşamasında, örnek alanlarda tespit edilen toplam fidan sayıları, ağaçlandırma sahalarına dikilen toplam ağaç sayılarına oranlanarak istatistiksel bir başarı projeksiyonu oluşturulmuştur. Bu oranlama yöntemiyle, örneklemden elde edilen bulguların tüm ağaçlandırma sahasını temsil kabiliyeti doğrulanmış ve sahanın genel bulunuş sıklığı matematiksel olarak modellenmiştir.

Ağaçlandırma sahalarındaki fidanların mevcut sağlık ve hayatta kalma durumlarını belirlemek amacıyla, her bir alanda belirlenen 10 adet örneklem parselinden oransal veri toplanmıştır. Örneklem alanlarında sayımı yapılan tüm fidanlar; 'sağlıklı', 'sağlıksız' ve 'ölü' olmak üzere üç farklı kategoride değerlendirilmiştir. Örneklem alanlardan elde edilen kategori oranları, sahaya dikilen toplam fidan sayısına oranlanmış ve böylece sahanın bütününe ait tahmini sağlıklı, sağlıksız ve ölü fidan sayıları istatistiksel olarak hesaplanmıştır.

Geleneksel izleme çalışmalarında fidanların yalnızca "canlı" veya "ölü" olarak sınıflandırılması, sahadaki çevresel stres faktörlerinin dinamik etkilerini ve fidanların adaptasyon süreçlerindeki belirsizlikleri tam olarak yansıtamamaktadır. Bu çalışmada, arazide "güçsüz/stresli" olarak tanımlanan ve yaşam döngüleri henüz kesinleşmemiş bireylerin durumunu istatistiksel olarak modelleyebilmek amacıyla iki yönlü bir projeksiyon (senaryo) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, ağaçlandırma sahasının gelecekteki gelişim potansiyeline dair alt ve üst limitleri belirlemeye olanak tanımaktadır.

1. Maksimum Potansiyel Modeli (İyimser Senaryo): Maksimum Potansiyel Modeli, arazideki toprak nemi, iklimsel şartlar ve diğer çevresel faktörlerin fidan gelişimi lehine seyredeceği varsayımına dayanır. Bu ekolojik beklenti doğrultusunda, arazide gelişim geriliği gösteren "güçsüz/stresli" bireylerin zamanla kök adaptasyonunu tamamlayarak sağlıklı bireylere dönüşeceği öngörülür. Hesaplama modelinde güçsüz fidanlar, "sağlıklı" fidan kategorisine dahil edilerek toplam birey sayısına oranlanır. Bu formülasyon, sahadaki ekolojik restorasyonun ulaşabileceği *maksimum başarı sınırını (üst limit)* matematiksel olarak temsil etmektedir.

$$Maksimum\ Potansiyel\ Frekansı = \frac{Sağlıklı\ Bireyler + Güçsüz\ Bireyler}{Örneklem\ Alandaki\ Toplam\ Birey\ Sayısı} \times Alandaki\ Toplam\ Fide\ Sayısı$$

2. Minimum Potansiyel Modeli (Kötümser Senaryo): Minimum Potansiyel Modeli, alandaki kuraklık, zayıf drenaj veya aşırı sıcaklık gibi çevresel stres faktörlerinin fidanlar üzerindeki baskısını sürdüreceği temeline dayanır. Bu yaklaşıma göre, sahaya adaptasyon zorluğu çeken ve "güçsüz" kategorisinde yer alan bireylerin bu ekolojik stresi tolere edemeyerek zamanla öleceği varsayılır. İstatistiksel modellemede güçsüz fidanlar sistemden çıkarılarak, yalnızca tam adaptasyon sağlamış "sağlıklı" fidanlar toplam birey sayısına oranlanır. Bu projeksiyon, uygulamanın hiçbir dış destek (sulama, gübreleme

vb.) olmaksızın sahada tutunabileceği *minimum hayatta kalma oranını (alt limit)* ifade etmektedir.

$$Maksimum\ Potansiyel\ Frekansı = \frac{Sağlıklı\ Bireyler}{Örneklem\ Alandaki\ Toplam\ Birey\ Sayısı} \times Alandaki\ Toplam\ Fide\ Sayısı$$

Bulgular ve Tartışma

İzleme çalışmalarının başlangıcını oluşturan 1. ve 2. arazi gözlemlerinde fidanların mevcut durumu, sahada rastgele seçilen örneklem alanlar aracılığıyla değerlendirilmiştir. Ancak, zaman içerisindeki ekolojik değişimi daha hassas takip edebilmek ve izleme ziyaretlerinin verimliliğini artırmak amacıyla, sonraki aşamalarda "sabit örneklem alan" uygulamasına geçilmiştir (Christensen vd., 2021; Henry vd., 2018). Bu kapsamda deneme alanları kodlanarak etiketlenmiş ve her bir örneklem alanın köşeleri kazıklar yardımıyla sahada fiziksel olarak işaretlenmiştir.

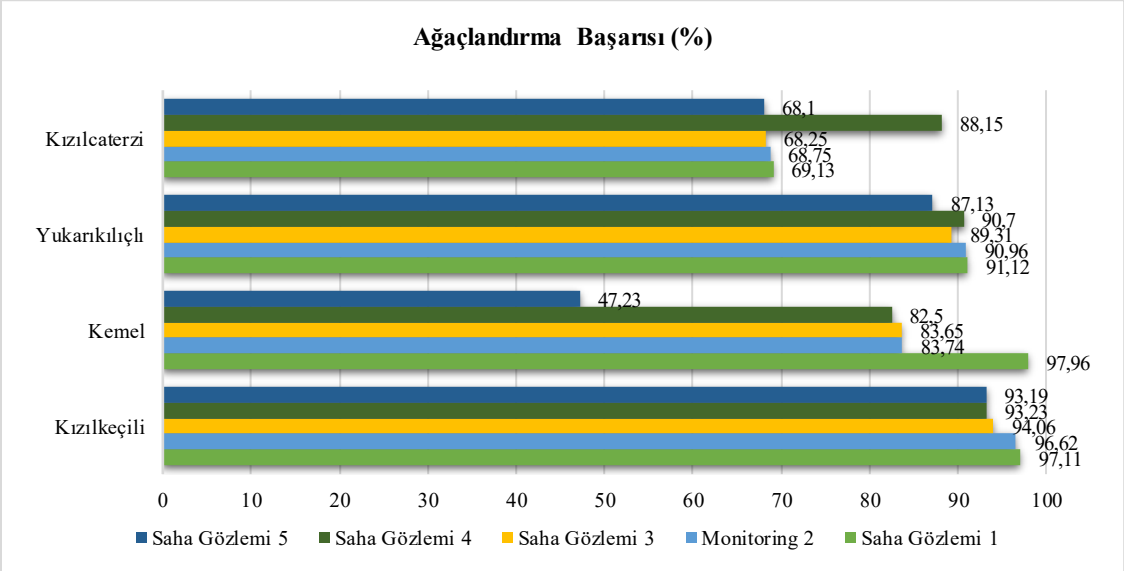
Uygulanan bu sabit örneklem alan sistemiyle, belirlenen alanlar içerisindeki fidanların sağlık durumu ve büyüme performansları periyodik olarak tüm saha genelinde değerlendirilmeye başlanmıştır (Chianucci vd., 2021). Fidanların gelişimi ilerledikçe çevre koşullarına adaptasyon yetenekleri artmaktadır; bu doğrultuda birbirini izleyen gözlem çalışmalarında ölü veya sağlıksız birey sayısında azalma öngörülmüştür. Nitekim yapılan periyodik incelemelerde, sahanın bazı lokal noktalarında sağlıksız gelişim veya ölü bireyler tespit edilmeye devam etse bile alanların büyük bir çoğunluğunda fidanların başarılı bir şekilde büyümeyi sürdürdüğü gözlemlenmiştir. Çalışmanın 4. gözlem periyodunda, arazi koşulları sebebiyle (serbest otlatma, alana giriş çıkışların sınırlandırılmaması ve eğimli araziler) belirli sahalardaki işaretleme kazıklarının kaybolduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple devam eden gözlemlerde örneklem alanlar tekrar rastgele olarak seçilmiştir. Buna ek olarak, süreç içerisinde Orman Bölge Müdürlüğü (OBM) tarafından Kızılcaterzi ve Yukarıkılıçlı mevkilerinde yeni fidan dikim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Hem fiziksel işaretlemelerin kaybolması hem de sahaya eklenen yeni bireyler sebebiyle, söz konusu iki alanın örnekleme tasarımı güncellenerek bu bölgelerde yeni örneklem alan sayımları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1 Ağaçlandırma Çalışmalarının Başarı Yüzdeleri

	1. Saha Gözlemi		2. Saha Gözlemi		3. Saha Gözlemi		4. Saha Gözlemi		5. Saha Gözlemi	
Ağaçlandırma Sahaları	A.B. (%)	T.B.S	A.B. (%)	T.B.S	A.B. (%)	T.B.S	A.B. (%)	T.B.S	A.B. (%)	T.B.S
Çanakkale – Kızılkeçili	97,11	104	96,62	178	94,06	219	93,23	207	93,19	235
Çanakkale-/ Kemel	97,96	49	83,74	123	83,65	208	82,50	160	47,23	307
Tekirdağ /Yukarıkılıçlı	91,12	157	90,96	188	89,31	234	90,70	226	87,13	171
Tekirdağ / Kızılcaterzi	69,13	81	68,75	144	68,25	126	88,15	204	68,10	185

(A.B: Alan Başarısı; TBS: Toplam Birey Sayısı; örneklem alanlarda sayılan toplam birey sayısı)

Gerçekleştirilen izleme çalışmaları sonucunda elde edilen veriler, sahaların genel sağkalım oranları açısından farklı başarı seviyelerine ulaştığını göstermektedir. Kızılçam (*Pinus brutia*) fidanlarının gelişimi incelendiğinde, en yüksek başarı oranı %93,19 ile Kızılkeçili sahasında tespit edilmiştir. Bu sahayı, %87,13 oranında başarı gösteren Yukarıkılıçlı sahası takip etmektedir. Öte yandan, Kızılcaterzi sahasındaki başarı oranı %68,10 olarak ölçülmüş ve Kemel sahasındaki başarı oranı, bölgede yaşanan orman yangınının etkisi nedeniyle %47,23'e kadar gerilemiştir *(Tablo 1 ve Şekil 1)*.



Şekil 1 Ağaçlandırma Başarısı

Kızılkeçili

Sahanın ekolojik koşullarının fidan gelişimini optimum düzeyde desteklediği görülmektedir. Fidan boylarının 40 cm ile 200 cm aralığına ulaşması, alanın adaptasyon sürecini hızla tamamladığını ve çalışmanın en başarılı lokasyonu olduğunu kanıtlamaktadır.

Şekil 2 Kızılkeçili (2025)

Yukarıkılıçlı

Sahada başlangıçta tespit edilen düşük yoğunluklu bölgelere Orman Bölge Müdürlüğü (OBM) tarafından 6.600 adet ek fidan dikimi gerçekleştirilmiştir. Bu müdahale, sahadaki sağlıklı birey sayısını (tahmini 37.122 adet) artırmış ve genel başarı ivmesini olumlu yönde etkilemiştir.

Şekil 3 Yukarıkılıçlı (2025)

Kızılcaterzi

Sahaya 10.510 adet yeni fidan dikilmiş olmasına rağmen, 6 aylık süreçte yeni fidanlarda da ölümler ve sahada su akışına bağlı oluklar gözlemlenmiştir. Temel problemin toprağın drenaj kapasitesi ve belirli dönemlerdeki yüzeysel su akışları olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4 Kızılcaterzi Zemin Bozuklukları (2024)

Şekil 5 Kızılcaterzi, Sağlıklı ve Ölü Fidanlar (2025)

Kemel

16 Temmuz 2023 tarihinde Çanakkale'de meydana gelen ve yaklaşık 2.500 hektar alanı (1.200 hektarı verimli orman) etkileyen orman yangını, sahanın yaklaşık %75'ine zarar vermiştir. Bu sebeple çalışmanın devamındaki değerlendirmelerde Kemel sahası ele alınmamıştır.

Şekil 6 Kemel, Yangın Sonrası Durumu (2023)

Sahalardan elde edilen veriler, her bir alanın kendine özgü ekolojik dinamikleri olduğunu ortaya koymuştur:

Sahaların ekolojik sınırlarını ve gelecek potansiyellerini öngörebilmek amacıyla " Maksimum Potansiyel (İyimser)" ve "Minimum Potansiyel (Kötümser)" sonuçları içeren

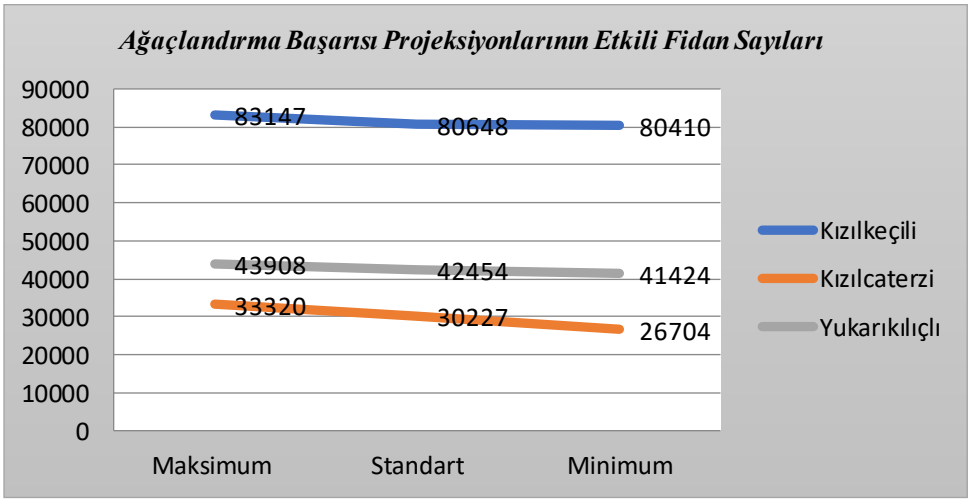
senaryo tabanlı bir hesaplama metodu geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda sahadaki "sağlıksız/güçsüz" fidanların durumu kilit bir rol oynamaktadır.

Yapılan hesaplamalara göre; Kızılkeçili sahasının başarı potansiyeli %94,60 ile %97,82 arasında dalgalanırken, Yukarıkılıçlı sahasının başarı sınırları %88,05 ile %93,33 arasında öngörülmektedir. Drenaj sorunları yaşayan Kızılcaterzi sahasında ise bu aralık %62,68 ile %78,21 bandındadır (*Tablo 3*). Kemel sahası, yangın tahribatı sebebiyle bu projeksiyon modellemesinin dışında bırakılmıştır

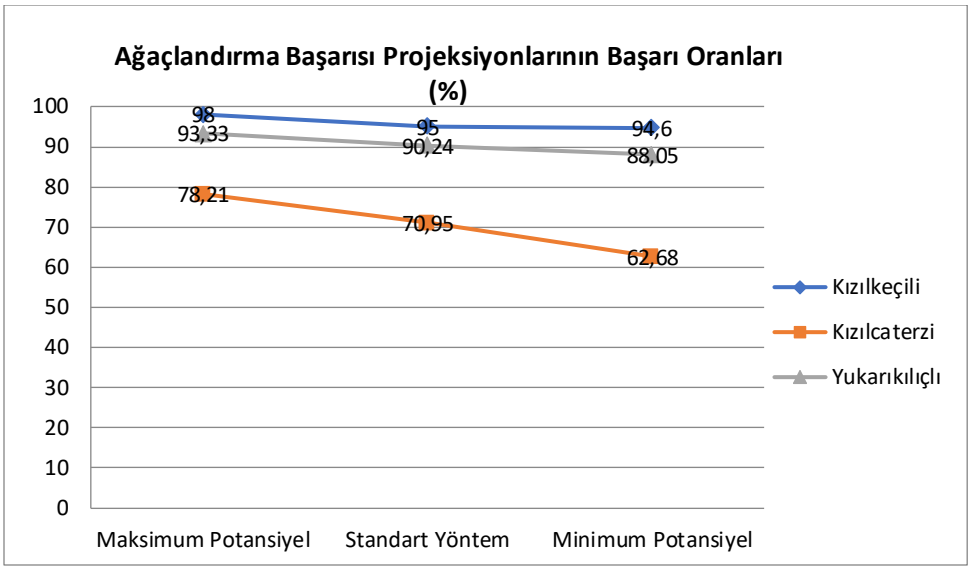
Tablo 3 Ağaçlandırma Başarısı Projeksiyonları

Ağaçlandırma Sahaları	Maksimum Potansiyel Modeli		Standard Yöntem		Minimum Potansiyel Modeli	
	Başarı (%)	Alandaki Etkili Fidan Sayısı	Başarı (%)	Alandaki Etkili Fidan Sayısı	Başarı (%)	Alandaki Etkili Fidan Sayısı
Kızılkeçili	97.82	83.147	94,88	80.648	94,60	80.410
Kızılcaterzi	78.21	33.320	70,95	30.227	62.68	26.704
Yukarıkılıçlı	93.33	43.908	90.24	42.454	88.05	41.424

Geliştirilen bu ikili senaryo yaklaşımı, "güçsüz" fidanların oluşturduğu ekolojik belirsizliği ortadan kaldırmakta ve karar vericiler ile yöneticiler için "en kötü" ve "en iyi" ihtimaller arasında iki uç değer aralığında somut bir başarı projeksiyonu sunmaktadır.



Şekil 7 Ağaçlandırma Başarısı Projeksiyonlarının Etkili Fidan Sayıları



Şekil 8 Ağaçlandırma Başarısı Projeksiyonlarının Başarı Oranları

Teşekkür

Ağaçlandırma sahalarının gözlem süreçlerinde katkı ve yardımları için Çevre Mühendisi Çağdaş Cengiz'e teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

An, L., & Brown, D. G. (2008). Survival analysis in land change science: Integrating with GIScience to address temporal complexities. *Annals of the Association of American Geographers*, *98*(2), 323-344.

Bao, S., & Yang, F. (2022). Spatio-Temporal Dynamic of the Land Use/Cover Change and Scenario Simulation in the Southeast Coastal Shelterbelt System Construction Project Region of China. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su14148952.

Barlow, J., Lennox, G. D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A. C., Nally, R. M., ... & Gardner, T. A. (2016). Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature*, *535*(7610), 144-147.

Bellehumeur, C., Legendre, P., & Marcotte, D. (1997). Variance and spatial scales in a tropical rain forest: changing the size of sampling units. *Plant Ecology, 130*, 89-98. https://doi.org/10.1023/a:1009763830908.

Chianucci, F., Tattoni, C., Ferrara, C., Ciolli, M., Brogi, R., Zanni, M., Apollonio, M., & Cutini, A. (2021). Evaluating sampling schemes for quantifying seed production in beech (Fagus sylvatica) forests using ground quadrats. *Forest Ecology and Management, 493*, 119294. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119294.

Christensen, E., James, D., Maxwell, C., Slaughter, A., Adler, P., Havstad, K., & Bestelmeyer, B. (2021). Quadrat-based monitoring of desert grassland vegetation at the

Jornada Experimental Range, New Mexico, 1915-2016.. *Ecology*, e03530 . https://doi.org/10.1002/ecy.3530.

De Oliveira Lima, M., Brasília, C., Miguel, E., D., M., Nappo, M., Rezende, A., & Matias, R. (2017). Comparison of sampling methods for description of floristic-structure in woody vegetation.. *Australian Journal of Crop Science, 11*, 1573-1578. https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.12.pne740.

Dhakal, T., Cho, K., Kim, S., & Beon, M. (2023). Modeling decline of mountain range forest using survival analysis. *Frontiers in Forests and Global Change*. https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1183509.

Greenberg, J. A., Kefauver, S. C., Stimson, H. C., Yeaton, C. J., & Ustin, S. L. (2005). Survival analysis of a neotropical rainforest using multitemporal satellite imagery. *Remote sensing of environment*, *96*(2), 202-211.

Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., ... & Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(44), 11645-11650.

Hao, L., Qingdong, S., Imin, B., & Kasim, N. (2020). Methodology for optimizing quadrat size in sparse vegetation surveys: A desert case study from the Tarim Basin. *PLoS ONE, 15*. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235469.

Henry, H., Murphy, S., Mcfarlane, M., Barna, H., Dunning, K., Hood, A., & Crosthwaite, J. (2018). Evaluating outcomes of restoration ecology projects on limited budgets: assessment of variation in sampling intensity and sampling frequency for four habitat types. *Restoration Ecology, 27*. https://doi.org/10.1111/rec.12855.

Jiang, Q., Cheng, Y., Jin, Q., Deng, X., & Qi, Y. (2015). Simulation of Forestland Dynamics in a Typical Deforestation and Afforestation Area under Climate Scenarios. *Energies, 8*, 10558-10583. https://doi.org/10.3390/en81010558.

Lee, H., Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P., ... & Park, Y. (2023). *IPCC, 2023: Climate change 2023: Synthesis report, summary for policymakers. Contribution of working groups i, II and III to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [core writing team, h. Lee and j. Romero (eds.)]. IPCC, geneva, Switzerland* (pp. 1-34). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Miranda, R., Kohler, S., Soares, Á., Miranda, I., & Kuchla, W. (2022). Precision and accuracy of sampling methods in thinned Pinus taeda L. stands. *FLORESTA*. https://doi.org/10.5380/rf.v52i1.74285.

Rathore, A. (2024). Elevating Forestry Prediction: A Study on Machine Learning Model for Plantations Survival Rate Analysis. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.61935.

Rice, E. (1967). A Statistical Method for Determining Quadrat Size and Adequacy of Sampling. *Ecology, 48*, 1047-1049. https://doi.org/10.2307/1934565.

Saleem, I., Mughloo, J., Mughal, A., & Baba, A. (2019). Quadrant Standardization for Herbaceous Species of Benhama, Ganderbal Area in Kashmir. *International Journal of*

Current Microbiology and Applied Sciences. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.197.

Sandker, M., Finegold, Y., D'annunzio, R., & Lindquist, E. (2017). Global deforestation patterns: comparing recent and past forest loss processes through a spatially explicit analysis. *International Forestry Review*, *19*(3), 350-368.

Scholten, T., Goebes, P., Kühn, P., Seitz, S., Assmann, T., Bauhus, J., ... & Schmidt, K. (2017). On the combined effect of soil fertility and topography on tree growth in subtropical forest ecosystems—a study from SE China. *Journal of Plant Ecology*, *10*(1), 111-127.

Sevillano, E., Contador, J., Schnabel, S., Pulido, M., & Ibáñez, J. (2018). Using spatial models of temporal tree dynamics to evaluate the implementation of EU afforestation policies in rangelands of SW Spain. *Land Use Policy*. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.06.054.

Siddiqui, A., Tayyabb, M. N., & Bodlahc, M. A. (2020). Plant diversity recorded at kuppi artificial forest plantation in pakistan. *Big Data In Agriculture*, *2*(2).

Sobanski, N., & Marques, M. C. (2014). Effects of soil characteristics and exotic grass cover on the forest restoration of the Atlantic Forest region. *Journal for Nature Conservation*, *22*(3), 217-222.

Stolle, L., Corte, A., Sanquetta, C., Behling, A., Hentz, Â., & Eisfeld, R. (2021). Predicting Stand Volume by Number of Trees Automatically Detected in UAV Images: An Alternative Method for Forest Inventory. *Forests*. https://doi.org/10.3390/f12111508.

Vance, C., & Geoghegan, J. (2002). Temporal and spatial modelling of tropical deforestation: a survival analysis linking satellite and household survey data. *Agricultural economics*, *27*(3), 317-332.

Vanoni, M., Cailleret, M., Hülsmann, L., Bugmann, H., & Bigler, C. (2019). How do tree mortality models from combined tree-ring and inventory data affect projections of forest succession?. *Forest Ecology and Management*. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.042.

Wang, N., Brown, D. G., An, L., Yang, S., & Ligmann-Zielinska, A. (2013). Comparative performance of logistic regression and survival analysis for detecting spatial predictors of land-use change. *International Journal of Geographical Information Science*, *27*(10), 1960-1982.

Yao, Y., Liang, S., Cheng, J., Lin, Y., Jia, K., & Liu, M. (2014). Impacts of deforestation and climate variability on terrestrial evapotranspiration in subarctic China. *Forests*, *5*(10), 2542-2560.

Yousefi, S., Avand, M., Yariyan, P., Goujani, H., Costache, R., Tavangar, S., & Tiefenbacher, J. (2021). Identification of the most suitable afforestation sites by Juniperus excels specie using machine learning models: Firuzkuh semi-arid region, Iran. *Ecol. Informatics, 65*, 101427. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101427.

TÜRLER ARASI REKABET SİLAHI OLARAK ALLELOKİMYASALLAR

Elif KIZILDELİ[1], Mustafa PEHLİVAN[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0005-0587-6196

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-8277-6085

Özet

Bitkiler arasındaki rekabet yalnızca ışık, su ve besin maddesi gibi kaynakların paylaşımı üzerinden değil, aynı zamanda kimyasal iletişim ve müdahale yoluyla da gerçekleşmektedir. Allelopati, bir bitkinin ürettiği kimyasal bileşiklerin (allelokimyasalların) diğer bitkilerin çimlenmesi, büyümesi, gelişimi ve fizyolojik süreçleri üzerinde doğrudan veya dolaylı inhibitör ya da stimülatör etkiler göstermesi olarak tanımlanmaktadır. Allelokimyasallar, bitkilerin sekonder metabolizma yolları aracılığıyla sentezlenen ve primer büyüme ve gelişme için zorunlu olmayan, ancak savunma, iletişim ve rekabet gibi ekolojik işlevlerde kritik roller üstlenen bileşiklerdir. Bu moleküller, fenolik bileşikler, terpenoidler, alkaloidler ve organik asitler gibi çeşitli kimyasal sınıflara ayrılmakta ve her grup farklı biyosentez yolları, fizikokimyasal özellikler ve biyolojik aktivite profilleri sergilemektedir. Allelokimyasalların çevreye salınımı kök salgıları, yaprak yıkanması, volatilizasyon ve bitki kalıntısı ayrışması gibi çeşitli mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşmekte; bu yollar allelokimyasalların rizosfer ve toprak ortamına ulaşmasını ve hedef bitkilerle etkileşime girmesini sağlamaktadır. Hedef bitkilerde allelokimyasallar, çimlenme inhibisyonu, kök ve gövde büyümesinin baskılanması, fotosentez ve solunum süreçlerinin engellenmesi, besin alımının azalması ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) artışı gibi çok sayıda fizyolojik ve biyokimyasal bozukluğa yol açmaktadır. Ekolojik boyutta allelopati, ototoksisite (tür içi baskı) ve heterotoksisite (türler arası baskı) mekanizmaları aracılığıyla bitki toplulukları içindeki tür kompozisyonunu, süksesyon dinamiklerini ve istilacı türlerin başarısını etkilemektedir. Özellikle istilacı bitki türlerinin başarısını açıklamada "Yeni Silah Hipotezi" (Novel Weapons Hypothesis, NWH) önemli bir teorik çerçeve sunmaktadır. Bu hipoteze göre, istilacı türler yeni habitatlarda yerel türlerin evrimsel deneyim kazanmadığı allelokimyasallar üreterek rekabetçi avantaj elde etmektedir. Sonuç olarak, allelokimyasallar türler arası rekabette aktif kimyasal silahlar olarak işlev görmekte ve bitki toplulukları içindeki tür kompozisyonunu, süksesyon dinamiklerini ve istilacı türlerin başarısını önemli ölçüde etkilemekle birlikte; sürdürülebilir tarım uygulamalarında allelopatik yaklaşımların entegrasyonu, kimyasal herbisit kullanımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği artırma potansiyeline sahiptir.

Anahtar kelimeler: Allelopati, Allelokimyasal, İstilacı türler, Sekonder metabolitler, Türler arası rekabet

Abstract

Competition between plants takes place not only through the sharing of resources such as light, water and nutrients, but also through chemical communication and intervention. Allelopathy is defined as the direct or indirect inhibitory or stimulating effects of chemical compounds (allelochemicals) produced by a plant on the germination, growth, development and physiological processes of other plants. Allelochemicals are compounds synthesized through the secondary metabolism pathways of plants that are not essential for primary growth and development, but assume critical roles in ecological functions such as defense, communication, and competition. These molecules are classified into various chemical classes, such as phenolic compounds, terpenoids, alkaloids, and organic acids, with each group exhibiting distinct biosynthesis pathways, physicochemical properties, and biological activity profiles. The release of allelochemicals to the environment occurs through various mechanisms such as root secretions, leaf washing, volatilization and plant residue decomposition; These pathways allow allelochemicals to reach the rhizosphere and soil environment and interact with target plants. In target plants, allelochemicals lead to numerous physiological and biochemical disorders, such as germination inhibition, suppression of root and stem growth, inhibition of photosynthesis and respiration processes, reduced nutrient uptake, and increase in reactive oxygen species (ROS). In the ecological dimension, allelopathy influences species composition, succession dynamics, and the success of invasive species within plant communities through the mechanisms of ototoxicity (intraspecific pressure) and heterotoxicity (interspecific pressure). In particular, the "Novel Weapons Hypothesis" (NWH) provides an important theoretical framework to explain the success of invasive plant species. According to this hypothesis, invasive species gain a competitive advantage by producing allelochemicals in new habitats that local species have not gained evolutionary experience with. In conclusion, allelochemicals function as active chemical weapons in interspecies competition and significantly influence species composition, succession dynamics, and the success of invasive species within plant communities; The integration of allelopathic approaches in sustainable farming practices has the potential to enhance environmental sustainability by reducing the use of chemical herbicides.

Keywords: Allelopathy, Allelochemical, Invasive species, Secondary metabolites, Interspecies competition

1. Giriş

Doğal ekosistemlerde ve tarımsal alanlarda bitkiler arasındaki rekabet, biyolojik çeşitliliğin şekillenmesinde ve topluluk yapısının belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Geleneksel olarak bitki rekabeti, ışık, su ve besin maddeleri gibi sınırlı kaynakların paylaşımı üzerinden ele alınmış; ancak son yıllarda kimyasal iletişim ve müdahale mekanizmalarının da rekabet dinamiklerinde önemli işlevler üstlendiği anlaşılmıştır. Allelopati, bir bitkinin ürettiği kimyasal bileşiklerin (allelokimyasalların) diğer bitkilerin çimlenmesi, büyümesi, gelişimi ve fizyolojik süreçleri üzerinde doğrudan veya dolaylı inhibitör ya da stimülatör etkiler göstermesi olarak tanımlanmaktadır (Macías et al., 2020). Bu kavram ilk kez Avusturyalı botanikçi Hans Molisch tarafından 1937 yılında "Allelopathie" terimi ile literatüre kazandırılmış ve bitki-bitki etkileşimlerinin kimyasal boyutunu vurgulamıştır (Macías et al., 2020).

Allelopatinin bilimsel temelleri, Elroy Leon Rice'ın 1974 ve 1984 yıllarında yayımladığı kapsamlı monografilerle sistematik bir çerçeveye kavuşturulmuştur. Rice,

allelokimyasalları "bir bitkinin ürettiği ve diğer organizmaların büyümesi, sağlığı veya davranışı üzerinde etkili olan sekonder metabolitler" olarak tanımlamış ve bu bileşiklerin ekolojik ve tarımsal sistemlerdeki rollerini detaylı bir şekilde incelemiştir (Li et al., 2010). Günümüzde allelopati, bitki ekolojisi, istilacı tür biyolojisi, tarımsal yabancı ot yönetimi ve sürdürülebilir tarım uygulamaları gibi çok sayıda disiplinde aktif araştırma konusu olmaya devam etmektedir (Albuquerque et al., 2011; Kong et al., 2024).

Allelokimyasallar, bitkilerin sekonder metabolizma yolları aracılığıyla sentezlenen ve primer büyüme ve gelişme için zorunlu olmayan, ancak savunma, iletişim ve rekabet gibi ekolojik işlevlerde kritik roller üstlenen bileşiklerdir. Bu moleküller, fenolik bileşikler, terpenoidler, alkaloidler ve organik asitler gibi çeşitli kimyasal sınıflara ayrılmakta ve her grup farklı biyosentez yolları, fizikokimyasal özellikler ve biyolojik aktivite profilleri sergilemektedir (Li et al., 2010; Mushtaq et al., 2020). Allelokimyasalların çevreye salınımı kök salgıları, yaprak yıkanması, volatilizasyon ve bitki kalıntısı ayrışması gibi çeşitli mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşmekte; bu yollar allelokimyasalların rizosfer ve toprak ortamına ulaşmasını ve hedef bitkilerle etkileşime girmesini sağlamaktadır (Perry et al., 2006; Xu et al., 2023).

Hedef bitkilerde allelokimyasallar, çimlenme inhibisyonu, kök ve gövde büyümesinin baskılanması, fotosentez ve solunum süreçlerinin engellenmesi, besin alımının azalması ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) artışı gibi çok sayıda fizyolojik ve biyokimyasal bozukluğa yol açmaktadır (Mushtaq et al., 2020; Li et al., 2022). Bu etkiler, hedef bitkilerin rekabet gücünü zayıflatmakta ve allelokimyasal üreten türlere belirgin bir avantaj sağlamaktadır. Ekolojik boyutta allelopati, ototoksisite (tür içi baskı) ve heterotoksisite (türler arası baskı) mekanizmaları aracılığıyla bitki toplulukları içindeki tür kompozisyonunu, süksesyon dinamiklerini ve istilacı türlerin başarısını etkilemektedir (Inderjit et al., 2011; Fernandez et al., 2016).

Özellikle istilacı bitki türlerinin başarısını açıklamada "Yeni Silah Hipotezi" (Novel Weapons Hypothesis, NWH) önemli bir teorik çerçeve sunmaktadır. Bu hipoteze göre, istilacı türler yeni habitatlarda yerel türlerin evrimsel deneyim kazanmadığı allelokimyasallar üreterek rekabetçi avantaj elde etmektedir (Inderjit et al., 2011; Lorenzo et al.; 2023).

Bu derlemenin amacı, allelokimyasalların kimyasal yapısı, sınıflandırılması, salınım mekanizmaları, hedef bitkilerdeki etki yolları ve türler arası rekabetteki stratejik rollerini güncel literatür ışığında sistematik bir çerçevede ele almaktır. Derleme, teorik temellerin yanı sıra seçilmiş örnek türler üzerinden somut vaka analizleri sunmakta, tarihsel gelişim ve güncel metabolomik yaklaşımlar ile biyoherbisit potansiyelini tartışmaktadır. Derleme kapsamı, bitki-bitki etkileşimlerine odaklanmakta; bitki-mikroorganizma ve bitki-hayvan etkileşimleri yalnızca dolaylı etkileri bağlamında ele alınmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma, allelopati ve allelokimyasallar üzerine yayımlanmış ulusal ve uluslararası akademik kaynakların incelenmesine dayalı bir derleme çalışmasıdır. Literatür taraması

kapsamında Web of Science, Scopus, Google Scholar ve ScienceDirect veri tabanlarından yararlanılmıştır.

Araştırma sürecinde "allelopati", "allelokimyasal", "bitki rekabeti", "sekonder metabolitler", "rizosfer etkileşimleri" ve "istilacı türler" anahtar kelimeleri kullanılarak yayımlanmış makaleler, derlemeler ve bilimsel raporlar incelenmiştir. Çalışmaya özellikle son yıllarda yayımlanan güncel araştırmalar dahil edilmiş; allelokimyasalların kimyasal sınıflandırılması, salınım yolları ve ekolojik etkileri üzerine odaklanılmıştır.

Elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve benzer bulgular sistematik bir çerçevede bir araya getirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kimyasal Yapı Ve Sınıflandırma

Bitki metabolizması, primer ve sekonder metabolizma olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Primer metabolitler (karbonhidratlar, proteinler, lipitler ve nükleik asitler), tüm canlı hücrelerde bulunan ve büyüme, gelişme ve üreme için zorunlu olan temel bileşiklerdir. Sekonder metabolitler ise belirli bitki taksonlarında üretilen ve primer yaşamsal işlevler için zorunlu olmayan, ancak savunma, iletişim, rekabet ve çevresel stres toleransı gibi ekolojik işlevlerde önemli roller üstlenen bileşiklerdir (Latif et al., 2017). Allelokimyasallar, sekonder metabolitlerin bir alt grubu olarak konumlandırılmakta ve özellikle bitki-bitki etkileşimlerinde kimyasal müdahale aracı olarak işlev görmektedir (Macías et al., 2020).

Fenolik bileşikler, allelokimyasallar arasında en yaygın ve en iyi karakterize edilmiş grubu oluşturmaktadır. Bu bileşikler, shikimat ve poliketid biyosentez yolları aracılığıyla üretilmekte ve bir veya daha fazla hidroksil grubu taşıyan aromatik halka yapıları ile karakterize edilmektedir (Li et al., 2010). Fenolik allelokimyasallar, basit fenoller, fenolik asitler (benzoik ve sinnamik asit türevleri), flavonoidler, taninler ve kumarinler gibi çok sayıda alt sınıfa ayrılmaktadır (Palanisamy et al., 2020).

Fenolik asitler, allelopatik etkileşimlerde sıklıkla rapor edilen bileşikler arasında yer almaktadır. Benzoik asit türevleri (p-hidroksibenzoik asit, vanilik asit, gallik asit) ve sinnamik asit türevleri (kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit) toprak ve rizosfer ortamında yaygın olarak bulunmakta ve hedef bitkilerin çimlenmesi ve büyümesi üzerinde inhibitör etkiler göstermektedir (Li et al., 2010). Fenolik bileşiklerin suda çözünürlükleri genellikle yüksektir; bu özellik, yıkanma ve kök salgıları yoluyla toprağa geçişlerini kolaylaştırmaktadır. Toprakta fenolik allelokimyasallar mikrobiyal transformasyonlara uğrayabilmekte ve bu süreçler bileşiklerin biyoyararlanımını ve toksisitesini değiştirebilmektedir (Li et al., 2010).

Terpenoidler (izoprenoitler), mevalonat ve metileritritol fosfat (MEP) biyosentez yolları aracılığıyla üretilen ve izoprenik (C5) birimlerinin polimerizasyonu ile oluşan geniş bir kimyasal ailedir. Terpenoidler, monoterpenler (C10), seskiterpenler (C15), diterpenler (C20), triterpenler (C30) ve steroidler gibi alt sınıflara ayrılmakta ve her grup farklı fizikokimyasal özellikler ve biyolojik aktiviteler sergilemektedir (Yoneyama et al., 2010).

Monoterpenler ve seskiterpenler, genellikle uçucu bileşikler olarak karakterize edilmekte ve volatilizasyon yoluyla çevreye salınmaktadır. Karvakrol, timol, limonen, α-pinen ve β-pinen gibi monoterpenler, aromatik bitkilerin yapraklarında ve glandüler tüylerinde

yüksek konsantrasyonlarda bulunmakta ve komşu bitkilerin çimlenmesi ve büyümesi üzerinde inhibitör etkiler göstermektedir (Xu et al., 2023). Diterpenler ise genellikle uçucu olmayan bileşikler olarak kök salgılarında ve bitki kalıntılarında bulunmaktadır. *Oryza sativa* L. (çeltik) tarafından üretilen momilakton A ve momilakton B, güçlü allelopatik aktivite sergileyen diterpen allelokimyasallar olarak tanımlanmış ve özellikle *Echinochloa crus-galli* P. Beauv. (darıcan) gibi yabancı otların baskılanmasında etkili olduğu gösterilmiştir (Xu et al., 2023).

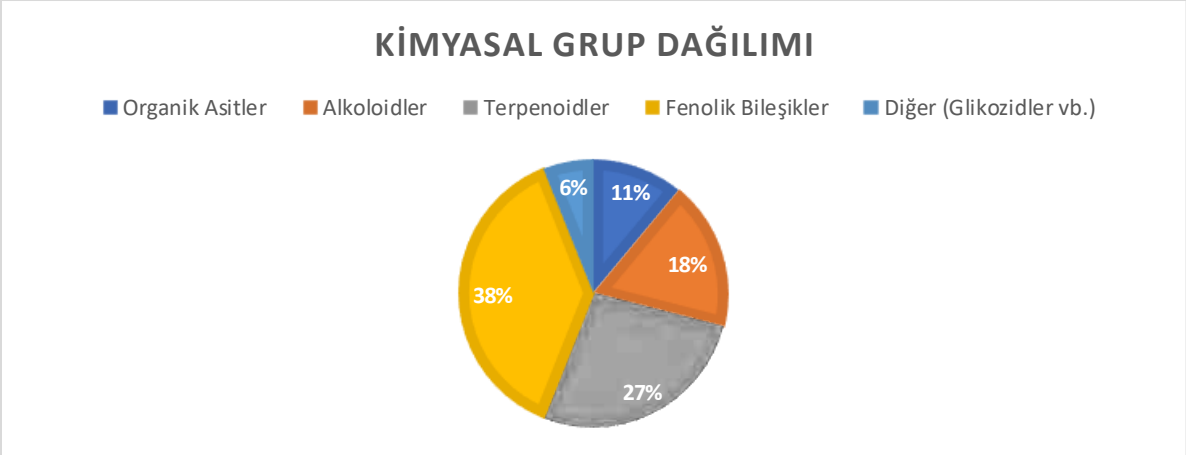
Alkaloidler**,** azot içeren heterosiklik yapılar ile karakterize edilen ve genellikle yüksek biyolojik aktivite sergileyen sekonder metabolitlerdir. Alkaloidler, aminoasitlerin dekarboksilasyonu ve siklizasyonu yoluyla sentezlenmekte ve bitkilerde savunma ve allelopati gibi ekolojik işlevlerde önemli roller üstlenmektedir (Latif et al., 2017).

Allelopatik alkaloidler arasında, *Hordeum vulgare* L. (arpa) tarafından üretilen hordenin ve gramin, *Chromolaena odorata* (L.) R.M.King & H.Rob.'da bulunan pirolizidin alkaloidleri ve istilacı *Vincetoxicum* Walter türlerinde tanımlanan antofin yer almaktadır. Gibson ve arkadaşları (2011), -antofinin mikromolar konsantrasyonlarda yerel otsu türlerin kök büyümesini güçlü bir şekilde inhibe ettiğini ve bu bileşiğin istilacı başarıda önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Alkaloidlerin yüksek toksisitesi, düşük konsantrasyonlarda bile etkili olmalarını sağlamakta; ancak bu bileşiklerin üretimi metabolik olarak maliyetli olduğundan, alkaloid tabanlı allelopati belirli taksonlarla sınırlı kalmaktadır (Mushtaq et al., 2020).

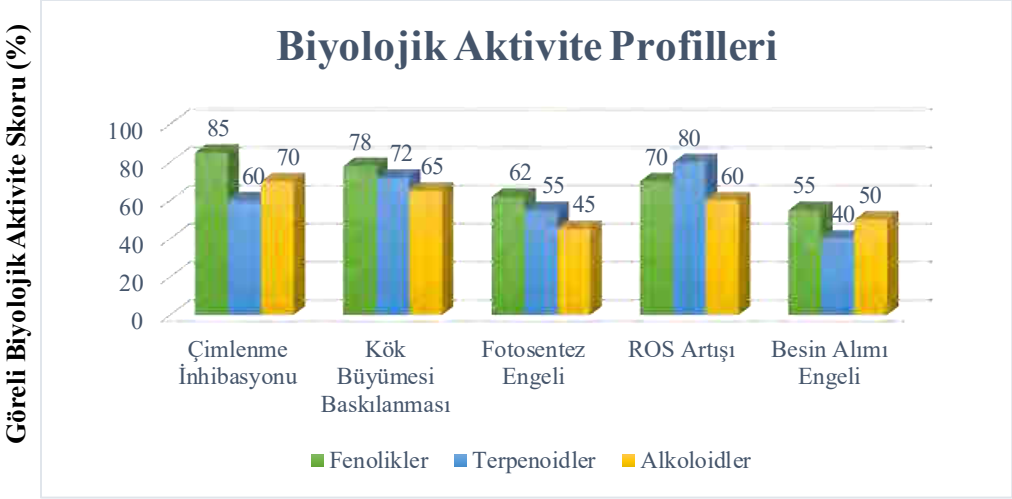
Organik asitler, özellikle düşük moleküler ağırlıklı alifatik ve aromatik karboksilik asitler, toprak ve rizosfer ortamında yaygın olarak bulunan allelokimyasallardır. Benzoik asit, trans-sinnamik asit, kafeik asit, p-kumarik asit, oksalik asit ve malik asit gibi bileşikler, kök salgıları ve bitki kalıntısı ayrışması yoluyla toprağa salınmakta ve hedef bitkilerin çimlenmesi, besin alımı ve kök gelişimi üzerinde inhibitör etkiler göstermektedir (Li et al., 2010). Bunların yanı sıra, glikozidler (örneğin, glukozinolatlar), laktonlar, kinolar ve asetogeninler gibi çeşitli kimyasal gruplar da allelopatik aktivite sergileyebilmektedir. *Brassica* türlerinde bulunan glukozinolatlar, bitki kalıntısı ayrışması sırasında miyrosinaz enzimi ile hidrolize edilerek izotiyosiyanatlar gibi toksik bileşiklere dönüşmekte ve bu ürünler güçlü allelopatik etkiler göstermektedir (Xu et al., 2023).

Tablo 1. Allelokimyasalların Kimyasal Gruplar Bazında Sınıflandırılması ve Özellikleri

Kimyasal Grup	Biyosentez Yolu	Örnek Bileşikler	Örnek Türler	Temel Özellikler
Fenolik Bileşikler	Shikimat ve poliketit yolları	Kafeik asit, p-kumarik asit, (±)-katesin, kuersetin	*Centaurea cuneifolia, Solidago canadensis*	Suda çözünür, yıkanma ve kök salgısı ile salınım, geniş spektrumlu inhibisyon
Terpenoidler	Mevalonat ve MEP yolları	Momilakton A, karvakrol, timol, limonen	*Oryza sativa, Salvia spp., Chromolaena odorata*	Volatil (mono- ve seskiterpenler), uzak mesafe etki, yarı kurak ekosistemlerde önemli
Alkaloidler	Amino asit türevleri	Hordenin, gramin, (−)-antofin, pirolizidin alkaloidleri	*Hordeum vulgare, Vincetoxicum spp., Chromolaena odorata*	Yüksek toksisite, düşük konsantrasyonda etkili, metabolik maliyet yüksek
Organik Asitler	Primer metabolizma ve shikimat yolu	Benzoik asit, oksalik asit, malik asit, trans-sinnamik asit	Çok sayıda tür	Düşük moleküler ağırlık, kök salgısı ile salınım, besin alımı ve pH etkisi
Diğer (Glikozidler vb.)	Çeşitli yollar	Glukozinolatlar, laktonlar, kinolar	*Brassica* spp., *Juglans* spp.	Enzimatik aktivasyon gerektirebilir, kalıntı ayrışması ile salınım



Şekil 1. Allelokimyasal Bileşiklerin Kimyasal Gruplar Bazında Dağılımı: Literatürde bildirilen allelokimyasal bileşiklerin kimyasal gruplara göre dağılımı (fenolik bileşikler %38, terpenoidler %27, alkaloidler %18, organik asitler %11, diğer %6) (Li et al., 2010; Xu et al., 2023).



Şekil 2. Biyolojik Aktivite Profilleri: Farklı kimyasal grupların çimlenme inhibisyonu, kök büyümesi baskılanması, fotosentez engeli, ROS artışı ve besin alımı engeli gibi fizyolojik parametreler üzerindeki göreceli biyolojik aktivite skorları. Fenolik bileşikler çimlenme inhibisyonunda (%85) ve kök büyümesi baskılanmasında (%78) en yüksek aktiviteyi göstermekte; terpenoidler ROS artışında (%80) öne çıkmakta; alkaloidler ise çimlenme inhibisyonunda (%70) ve besin alımı engelinde (%50) belirgin etkiler sergilemektedir (Li et al., 2010; Xu et al., 2023).

3.2 Allelokimyasalların Salınım Mekanizmaları

Allelokimyasalların ekolojik etkilerinin ortaya çıkabilmesi için, bu bileşiklerin bitki dokularından çevreye salınması ve hedef organizmalara ulaşması gerekmektedir. Allelokimyasal salınım mekanizmaları, kök salgıları, yaprak ve gövde yıkanması, volatilizasyon ve bitki kalıntısı ayrışması olmak üzere dört ana kategoriye ayrılmaktadır (Perry et al., 2006; Xu et al., 2023).

Kök salgıları (Rhizosfer yoluyla), allelokimyasalların çevreye salınımında en yaygın ve en doğrudan yoldur. Bitkiler, kök ucu ve kılcal kökler aracılığıyla çok sayıda organik bileşiği rizosfer ortamına salgılamakta; bu bileşikler arasında şekerler, amino asitler, organik asitler, enzimler ve sekonder metabolitler (allelokimyasallar) yer almaktadır (Perry et al., 2006). Kök salgıları yoluyla salınan allelokimyasallar, hedef bitkilerin kök sistemleri ile doğrudan temas etmekte ve çimlenme, kök büyümesi ve besin alımı gibi kritik süreçleri etkilemektedir. Kök salgısı miktarını ve kompozisyonunu etkileyen faktörler arasında besin stresi, su stresi, toprak pH'sı, sıcaklık ve mikrobiyal aktivite yer almaktadır. Besin eksikliği altında bitkiler, kök salgısı miktarını artırmakta ve bu durum allelokimyasal salınımını da etkileyebilmektedir (Jandová et al., 2015). Toprak pH'ı, allelokimyasalların çözünürlüğünü ve biyoyararlanımını değiştirerek etkinliklerini modüle etmektedir (Xu et al., 2023).

Yıkanma (Leaching), yağmur suyu, çiy veya sulama suyu ile yaprak, gövde ve bitki kalıntılarından allelokimyasalların toprağa geçmesi sürecidir. Bu mekanizma, özellikle suda çözünür fenolik bileşikler ve organik asitler için önemli bir salınım yoludur (Xu et al., 2023). Yıkanma yoluyla salınan allelokimyasallar, toprak yüzeyine ve üst toprak katmanlarına ulaşmakta; burada tohumların çimlenmesi ve fide gelişimi üzerinde inhibitör etkiler göstermektedir. Yıkanma miktarını etkileyen faktörler arasında yağış

miktarı ve sıklığı, yaprak yüzey özellikleri (tüylenme, mum tabakası), allelokimyasalların suda çözünürlüğü ve bitki yaşı yer almaktadır. Yüksek yağış alan bölgelerde yıkanma allelokimyasal salınımda daha önemli bir rol oynamaktadır (Xu et al., 2023).

Volatilizasyon (uçuculaşma), özellikle terpenoidler gibi uçucu allelokimyasalların yaprak yüzeyindeki glandüler tüylerden veya stoma açıklıklarından atmosfere salınması sürecidir. Volatil allelokimyasallar, atmosfer aracılığıyla uzak mesafelerdeki hedef bitkilere ulaşabilmekte ve bu özellik, özellikle yarı kurak ve kurak ekosistemlerde allelopatik etkileşimlerde önemli roller üstlenmektedir (Inderjit et al., 2011). Inderjit ve arkadaşları (2011), *Chromolaena odorata* (L.) R.M.King & H.Rob.'nın bitki kalıntılarından salınan uçucu terpenoidlerin, Asya'daki istilacı başarısında önemli bir rol oynadığını göstermiştir. Araştırmacılar, *C. odorata*'nın Asya popülasyonlarından elde edilen bitki kalıntılarının, Neotropik (doğal habitat) popülasyonlarına kıyasla daha yüksek konsantrasyonlarda volatil bileşikler saldığını ve bu bileşiklerin yerel türlerin fide ölümünü artırdığını rapor etmiştir.

Bitki kalıntısı ayrışması, ölü bitki materyalinin toprak mikroorganizmaları tarafından parçalanması sırasında allelokimyasalların açığa çıkması sürecidir. Bu mekanizma, özellikle glukozinolatlar gibi glikozidik allelokimyasallar için önemlidir; çünkü bu bileşikler enzimatik hidroliz sonucunda toksik ürünlere dönüşmektedir (Xu et al., 2023). Mikrobiyal transformasyon, allelokimyasalların topraktaki kaderini ve toksisitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bazı mikroorganizmalar, allelokimyasalları daha toksik formlara dönüştürebilirken, diğerleri bu bileşikleri parçalayarak detoksifiye edebilmektedir. Fenolik allelokimyasallar, toprak mikroorganizmaları tarafından hızla metabolize edilebilmekte; bu durum, bu bileşiklerin topraktaki kalıcılığını sınırlamaktadır (Li et al., 2010).

Allelokimyasal salınımı, çevresel stres faktörlerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Sıcaklık, su stresi, besin eksikliği, UV radyasyonu ve toprak pH'sı gibi faktörler, allelokimyasal üretimini ve salınımını modüle etmektedir (Xu et al., 2023). Sıcaklık artışı, genel olarak allelokimyasal üretimini ve salınımını artırmaktadır. Yüksek sıcaklıklar, sekonder metabolizma yollarını aktive etmekte ve volatil allelokimyasalların buharlaşma oranını artırmaktadır. Su stresi altında bitkiler, savunma metabolitlerinin üretimini artırmakta ve bu durum allelokimyasal konsantrasyonlarını yükseltmektedir (Xu et al., 2023). Besin eksikliği, özellikle azot ve fosfor eksikliği, kök salgısı miktarını ve kompozisyonunu değiştirmektedir. Besin stresi altında bitkiler, kök salgısı yoluyla daha fazla organik asit ve fenolik bileşik salgılayabilmekte; bu durum, besin mobilizasyonu ve allelopati arasında bir denge oluşturmaktadır (Jandová et al., 2015). Toprak pH'sı, allelokimyasalların çözünürlüğünü, adsorpsiyonunu ve biyoyararlanımını etkilemektedir. Asidik topraklarda fenolik bileşiklerin çözünürlüğü artmakta; bu durum, bu bileşiklerin biyoyararlanımını ve toksisitesini yükseltmektedir. Alkalin topraklarda ise bazı allelokimyasallar toprak partikülleri tarafından adsorbe edilmekte ve biyoyararlanımları azalmaktadır (Xu et al., 2023).

3.3 Hedef Bitkideki Etki Mekanizmaları

Allelokimyasalların hedef bitkilerde gösterdiği fizyolojik ve biyokimyasal etkiler, çok sayıda hücresel ve moleküler hedefi içeren karmaşık süreçlerdir. Bu bileşikler, çimlenme inhibisyonu, büyüme baskılanması, fotosentez ve solunum süreçlerinin engellenmesi,

besin alımının azalması ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) artışı gibi çok sayıda zararlı etkiye yol açmaktadır (Mushtaq et al., 2020; Li et al., 2022).

Çimlenme, bitki yaşam döngüsünün en kritik aşamalarından biridir ve allelokimyasallar bu süreç üzerinde güçlü inhibitör etkiler göstermektedir. Allelokimyasallar, tohumların su alımını engelleyerek, çimlenme enzimlerinin aktivitesini baskılayarak ve embriyo gelişimini bozarak çimlenmeyi inhibe etmektedir (Mushtaq et al., 2020). Sun ve arkadaşları (2022), *Solidago canadensis*'in sulu ekstraktlarının *Zoysia japonica* tohumlarının çimlenme oranını doz-bağımlı bir şekilde azalttığını göstermiştir. Araştırmacılar, 100 g/L konsantrasyonunda yaprak ekstraktının çimlenme oranını %40'a kadar düşürdüğünü ve bu etkinin fenolik asitlerin yüksek konsantrasyonları ile ilişkili olduğunu rapor etmiştir. Küçük tohumlu türlerin, büyük tohumlu türlere kıyasla allelokimyasallara daha duyarlı olduğu bilinmektedir (Mushtaq et al., 2020).

Allelokimyasallar, çimlenme sonrası fide gelişimi üzerinde de inhibitör etkiler göstermektedir. Kök ve gövde büyümesinin baskılanması, hücre bölünmesinin ve uzamasının engellenmesi, sitoskeletal düzensizlikler ve hücre duvarı sentezinin bozulması gibi mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşmektedir (Mushtaq et al., 2020). Gibson ve arkadaşları (2011), istilacı *Vincetoxicum* türlerinden izole edilen (−)-antofinin, mikromolar konsantrasyonlarda yerel otsu türlerin kök büyümesini güçlü şekilde inhibe ettiğini göstermiştir. Araştırmacılar, 10 µM (−)-antofin konsantrasyonunun kök uzunluğunu %70-80 oranında azalttığını ve bu etkinin mitoz inhibisyonu ile ilişkili olduğunu rapor etmiştir. Li ve arkadaşları (2022), *Artemisia argyi*'nin sulu ekstraktlarının (AAWE) *Oryza sativa*'nın kök ve yaprak ultra strüktüründe hasarlara yol açtığını göstermiştir. Araştırmacılar, kök hücrelerinde vakuol şişmesi, mitokondri hasarı ve hücre duvarı bozulması; yaprak hücrelerinde ise kloroplast yapısının bozulması ve tilakoid membranların parçalanmasını rapor etmiştir.

Fotosentez, bitki büyümesi ve gelişmesi için gerekli enerjinin üretildiği temel süreçtir. Allelokimyasallar, klorofil sentezini azaltarak, fotosentez enzimlerini (RuBisCO, fotosistemlerin proteinleri) baskılayarak ve kloroplast ultrastrüktürünü bozarak fotosentezi inhibe etmektedir (Li et al., 2022). Li ve arkadaşları (2022), AAWE uygulamasının çeltik yapraklarında klorofil a ve klorofil b içeriklerini azalttığını ve fotosentez hızını düşürdüğünü göstermiştir. Transkriptom analizi, fotosentez ile ilgili genlerin ekspresyonunun baskılandığını ortaya koymuştur. Mitokondriyal solunum ve ATP üretimi de allelokimyasallardan etkilenmektedir (Mushtaq et al., 2020).

Allelokimyasallar, kök membranlarındaki taşıyıcı proteinleri baskılayarak ve kök morfolojisini değiştirerek besin alımını engellemektedir. Li ve arkadaşları (2022), AAWE uygulamasının çeltik bitkilerinde Mg, Fe ve Mn alımını azalttığını göstermiştir. İyonom analizi, bu elementlerin konsantrasyonlarının %30-50 oranında düştüğünü ortaya koymuştur. Azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) alımı da etkilenmektedir (Mushtaq et al., 2020). Fenolik asitler, H^+-ATPaz aktivitesini baskılayarak besin taşıyıcılarının işlevini bozmaktadır.

Oksidatif stres, allelokimyasalların en yaygın etkilerinden biridir. Allelokimyasallar, reaktif oksijen türlerini artırarak oksidatif hasara yol açmaktadır (Li et al., 2022; Sun et al., 2022). Sun ve arkadaşları (2022), *Solidago canadensis* ekstraktlarının *Zoysia japonica* fidelerinde MDA içeriğini artırdığını ve POD aktivitesini yükselttiğini

göstermiştir. Li ve arkadaşları (2022), AAWE uygulamasının ROS düzeylerini artırdığını, SOD, CAT ve APX aktivitelerinin önce arttığını ancak uzun süreli maruziyette düştüğünü rapor etmiştir. ROS birikimi, lipid peroksidasyonu, protein oksidasyonu, DNA hasarı ve membran bütünlüğünün bozulmasına yol açarak hücre ölümüne neden olabilmektedir (Mushtaq et al., 2020).

3.4 Ekolojik Boyutuyla Türler Arası Rekabetteki Rolü

Allelokimyasallar, bitki toplulukları içindeki rekabet dinamiklerini şekillendirmede ve tür kompozisyonunu belirlemede önemli roller üstlenmektedir. Allelopati, kaynak rekabeti (ışık, su, besin maddeleri) ile birlikte çalışarak türler arası etkileşimleri modüle etmekte ve ekolojik toplulukların yapısını ve işlevini etkilemektedir (Fernandez et al., 2016; Xu et al., 2023). Bu bölümde, allelokimyasalların ekolojik boyutu, ototoksisite ve heterotoksisite mekanizmaları, "Yeni Silah Hipotezi", allelopati ile kaynak rekabetinin sinerjisi, süksesyon dinamiklerine etkisi ve rizosfer mikrobiyotasına dolaylı etkileri çerçevesinde ele alınmaktadır.

Allelopati, etkilenen organizmanın kimliğine bağlı olarak ototoksisite (tür içi baskı) ve heterotoksisite (türler arası baskı) olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır (Xu et al., 2023). Ototoksisite, bir bitkinin ürettiği allelokimyasalların aynı türden bireylerin çimlenmesi, büyümesi ve gelişimi üzerinde inhibitör etkiler göstermesidir ve özellikle yoğun monokültür tarımında "toprak yorgunluğu"na yol açmaktadır. Ayrıca tür içi yoğunluğu düzenleyerek rekabeti azaltabilmekte ve süksesyon süreçlerinde önemli rol oynamaktadır (Xu et al., 2023). Heterotoksisite, farklı türlerin çimlenme ve gelişimini baskılayarak türler arası rekabette kimyasal bir avantaj sağlamaktadır (Kong et al., 2024).

"Yeni Silah Hipotezi", istilacı türlerin yeni habitatlarda yerel türlerin evrimsel deneyim kazanmadığı allelokimyasallar üreterek rekabet avantajı elde ettiğini öne sürmektedir (Inderjit et al., 2011; Lorenzo et al., 2023). Inderjit ve arkadaşları (2011), *Chromolaena odorata*'nın Asya popülasyonlarının daha yüksek volatil terpenoidler ürettiğini ve yerel türlerin fide ölümünü artırdığını göstermiştir. Ancak istilacı başarı yalnızca allelokimyasallarla açıklanamayacağı için kaynak rekabeti ve diğer faktörlerin de rol oynadığı belirtilmektedir (Lorenzo et al., 2023; McCoy et al., 2021).

Allelopati, doğal ekosistemlerde kaynak rekabeti ile birlikte çalışmaktadır. Fernandez ve arkadaşları (2016), *Quercus ilex* ve *Pinus halepensis* üzerinde allelopati ve kaynak rekabetinin birlikte büyüme baskısını artırdığını göstermiştir. Bu etki, kök büyümesinin baskılanması ve besin alımının azalmasıyla açıklanmaktadır (Fernandez et al., 2016). Bitkilerde büyüme-savunma dengesi, sınırlı kaynakların büyüme ve savunma metabolitleri arasında paylaşılmasıyla oluşmaktadır. Fernandez ve arkadaşları (2016), rekabet altında *Quercus ilex*'in büyümeyi azaltırken fenolik üretimini artırdığını göstermiştir. Allelopati ayrıca süksesyon dinamiklerini etkileyerek tür değişimini hızlandırmakta veya baskınlığı sürdürmektedir (Xu et al., 2023). Ototoksisite tür içi baskı ile tür değişimini kolaylaştırırken, heterotoksisite belirli türlerin hakimiyetini desteklemektedir. Öncü türler genellikle güçlü allelopatik aktivite gösterir ancak zamanla ototoksisite nedeniyle kendi ortamlarını olumsuz hale getirebilir (Xu et al., 2023).

Allelokimyasallar ayrıca rizosfer mikrobiyotası üzerinde etkili olup dolaylı allelopatik etki oluşturabilmektedir. Perry ve arkadaşları (2006), *Centaurea cuneifolia* kök salgılarındaki (±)-kateşinin mikrobiyota değişimi yoluyla dolaylı etkiler oluşturduğunu

göstermiştir. Bu durum besin alımı, su kullanımı ve hastalık direncini etkileyerek allelopatik etkinliği artırmaktadır (Perry et al., 2006; Hickman et al., 2021).

3.5. Seçilmiş Örnek Türler

3.5.1. *Centaurea cuneifolia* Sm. (syn: *Centaurea maculosa*) (kırk düğme)

Allelokimyasallar: (±)-Kateşin (bir flavan-3-ol), kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit ve diğer fenolik bileşikler.

Salınım Mekanizması: Kök salgıları (rhizosfer yoluyla). Perry ve arkadaşları (2006), *C. cuneifolia*'nın kök salgılarında mikromolar konsantrasyonlarda katesin bulunduğunu göstermiştir.

Hedef Türler: Kuzey Amerika'daki yerel otsu türler (*Festuca idahoensis, Koeleria pyramidata, Pseudoroegneria spicata*).

Etki Mekanizmaları: Katesin, hedef bitkilerin kök büyümesini baskılamakta, ROS üretimini artırmakta ve toprak mikrobiyotasını değiştirerek dolaylı allelopatik etkiler oluşturmaktadır. (Perry et al., 2006).

Tarımsal ve Ekolojik Önem: *C. cuneifolia*, "Yeni Silah Hipotezi"nin en iyi bilinen örneklerinden biridir. Katesinin Kuzey Amerika'daki yerel türlerde Avrupa türlerine kıyasla daha güçlü inhibitör etkiler göstermesi, yerel türlerin bu allelokimyasala karşı evrimsel adaptasyon geliştirmemiş olması ile açıklanmaktadır (Perry et al., 2006).

3.5.2. *Solidago canadensis* L. (arsızaltınbaşak)

Allelokimyasallar: Kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit, klorojenik asit ve diğer fenolik bileşikler.

Salınım Mekanizması: Yaprak ve gövde yıkanması (leaching), kök salgıları. Sun ve arkadaşları (2022), *S. canadensis*'in farklı bitki kısımlarından elde edilen sulu ekstraktların güçlü allelopatik aktivite gösterdiğini rapor etmiştir.

Hedef Türler: *Zoysia japonica, Digitaria sanguinalis, Amaranthus retroflexus*.

Etki Mekanizmaları: Fenolik asitler, hedef bitkilerin çimlenmesini ve büyümesini baskılamakta, oksidatif stres oluşturmakta (MDA artışı, POD aktivitesi artışı) ve fotosentezi azaltmaktadır. Sun ve arkadaşları (2022), 100 g/L yaprak ekstraktının *Z. japonica*'nın çimlenme oranını %40'a kadar düşürdüğünü göstermiştir.

Tarımsal ve Ekolojik Önem: *S. canadensis*, istilacı başarısında allelopatinin önemli bir rol oynadığı türlerden biridir. Bu tür, yoğun monokültür oluşturarak yerel türleri baskılamakta ve biyolojik çeşitliliği azaltmaktadır (Sun et al., 2022).

3.5.3. *Hordeum vulgare* L. (Arpa)

Allelokimyasallar: Hordenin, gramin (alkaloidler), DIBOA (2,4-dihidroksi-1,4-benzoksazin-3-on), fenolik asitler.

Salınım Mekanizması: Kök salgıları, bitki kalıntısı ayrışması.

Hedef Türler: Yabancı otlar (*Avena fatua, Lolium* spp., *Phalaris* spp.).

Etki Mekanizmaları: Hordenin ve gramin, hedef bitkilerin çimlenmesini ve kök büyümesini baskılamakta; DIBOA ise fotosentezi ve hücre bölünmesini engellemektedir (Xu et al., 2023).

Tarımsal ve Ekolojik Önem: Arpa, allelopatik özelliği nedeniyle yabancı ot yönetiminde kimyasal herbisitlere alternatif olarak kullanılabilmektedir. (Albuquerque et al., 2011).

3.5.4. *Oryza sativa* L. (Çeltik)

Allelokimyasallar: Momilakton A, momilakton B (diterpenler), orizaleksin, fenolik asitler.

Salınım Mekanizması: Kök salgıları, bitki kalıntısı ayrışması.

Hedef Türler: *Echinochloa crus-galli* (darıcan), diğer yabancı otlar.

Etki Mekanizmaları: Momilaktonlar, hedef bitkilerin çimlenmesini ve kök büyümesini güçlü bir şekilde inhibe etmektedir. Bu bileşikler, hücre bölünmesini engellemekte ve oksidatif stres oluşturmaktadır (Xu et al., 2023).

Tarımsal ve Ekolojik Önem: Allelopatik çeltik çeşitlerinin geliştirilmesi, çeltik tarlalarında yabancı ot yönetiminde önemli bir stratejidir. Momilakton üretimi yüksek çeşitler, herbisit kullanımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği artırabilmektedir (Albuquerque et al., 2011).

3.5.5. *Juglans regia* L. (ceviz)

Allelokimyasallar: Cevizdeki başlıca allelopatik bileşik juglon (5-hidroksi-1,4-naftokinon)'dur; yaprak, kabuk, kök ve yeşil kabukta bulunur (Zubay et al., 2021; Thakur, 2011; Xu et al., 2023). Ceviz yaprak ve meyve kabuğu ekstraktları ayrıca fenolik asitler ve flavonoidler bakımından zengindir ve bunlar da allelopatik etkiye katkı yapar (Đorđević et al., 2022; Medič et al., 2021).

Salınım Mekanizması: Juglon, çoğunlukla öncül formlar halinde salınır ve çevrede oksitlenerek toksik juglona dönüşür (Zubay et al., 2021; Xu et al., 2023). Allelokimyasallar yaprak, kök ve meyve kabuklarından çevreye geçerek diğer bitkileri etkiler.

Hedef Türler: Ceviz yaprak ve meyve ekstraktları yabancı otlarda çimlenme ve fide gelişimini azaltır (Đorđević et al., 2022; Krstić et al., 2022). Buğday, çavdar, marul, domates ve çilek gibi kültür bitkilerinde de büyüme baskılanmıştır (Ercişli et al., 2018; Maksimović & Hasanagić, 2022).

Etki Mekanizmaları: Juglon fotosentez, solunum ve stomatal iletimi bozarak büyümeyi baskılar (Xu et al., 2023). Ayrıca oksidatif stresi ve reaktif oksijen türlerini artırarak bitkilerde zarara neden olur (Chen et al., 2015; Tăbăcariu, 2021).

Tarımsal ve Ekolojik Önem: Ceviz ekstraktları belirgin herbisit benzeri etki göstererek biyolojik alternatif potansiyeli taşımaktadır (Đorđević et al., 2022; Chauhan et al., 2022).

Tablo 2. Seçilmiş Örnek Türlerde Allelokimyasallar ve Etki Mekanizmaları

Tür	Allelokimyasallar	Salınım Mekanizmaları	Hedef Türler	Etki Mekanizmaları	Kaynaklar
***Centaurea cuneifolia* Sm.**	Katesin (bir flavan-3-ol), kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit	Kök salgıları (rhizosfer yoluyla)	*Festuca idahoensis, Koeleria pyramidata, Pseudoroegneria spicata*	Kök büyümesini baskılamak, ROS üretimini arttırmak	(Perry et al., 2006).
***Solidago canadensis* L.**	Kafeik asit, p-kumarik asit, ferulik asit	Yaprak ve gövde yıkanması (leaching), kök salgıları	*Zoysia japonica, Digitaria sanguinalis, Amaranthus retroflexus*	Hedef bitkilerin çimlenmesini ve büyümesini baskılamak, oksidatif stres oluşturmak ve fotosentezi azaltmak	(Sun et al., 2022).
***Hordeum vulgare* L.**	Hordenin, gramin, DIBOA, Fenolik asitler	Kök salgıları, bitki kalıntısı ayrışması	*Avena fatua, Lolium* spp., *Phalaris* spp.	Hedef bitkilerin çimlenmesini baskılamak, kök büyümesini baskılamak, hücre bölünmesini engellemek	(Xu et al., 2023; Albuquerque et al., 2011).
***Oryza sativa* L.**	Momilakton A, momilakton B (diterpenler), fenolik asitler.	Kök salgıları, bitki kalıntısı ayrışması	*Echinochloa crus-galli*	Hedef bitkilerin çimlenmesini, kök büyümesini güçlü bir şekilde inhibe etmek	(Xu et al., 2023).
***Juglans regia* L.**	juglon (5-hidroksi-1,4-naftokinon)	Bitki kalıntısı ayrışması	*Fragaria x ananassa, Lactuca sativa*	fotosentez, solunum ve stomatal iletimi bozarak büyümeyi baskılamak	bulunur (Zubay et al., 2021; Thakur, 2011; Xu et al., 2023).

3.6. Tartışma

Allelopati araştırmalarının tarihi, 20. yüzyılın başlarına kadar uzanmakta ve bu alanda son yıllarda önemli metodolojik ve kavramsal gelişmeler yaşanmaktadır. Allelopati kavramı, ilk kez 1937 yılında Avusturyalı botanikçi Hans Molisch tarafından "Allelopathie" terimi ile literatüre kazandırılmıştır. Molisch, bir bitkinin kimyasal bileşikler aracılığıyla diğer bitkilerin büyümesini etkileyebileceğini öne sürmüş ve bu etkileşimleri sistematik bir çerçevede incelemiştir (Macías et al., 2020). 1970'li ve 1980'li yıllarda Elroy Leon Rice'ın çalışmaları allelopati araştırmalarına sistematik bir

temel kazandırmış, allelokimyasalların yapısı ve ekolojik rolleri ayrıntılı şekilde ele alınmıştır (Li et al., 2010). 2000'li yıllardan itibaren metabolomik, transkriptomik ve proteomik gibi "omik" yaklaşımlar, allelokimyasalların tanımlanması ve etki mekanizmalarının anlaşılmasında önemli ilerlemeler sağlamıştır (Jandová et al., 2015). Metabolomik, bir organizmanın tüm metabolitlerinin analiz edilmesi olup allelokimyasalların belirlenmesinde güçlü bir araçtır (Jandová et al., 2015). Jandová ve arkadaşları (2015), *Heracleum mantegazzianum* kök salgılarında fenolik bileşiklerin (furanocumarinler, fenolik asitler) konsantrasyonunun allelopatik aktivite ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Transkriptomik çalışmalar ise hedef bitkilerde gen ekspresyon değişimlerini ortaya koyarak allelopatik etkilerin moleküler düzeyde anlaşılmasını sağlamıştır (Li et al., 2022). Kimyasal herbisitlerin çevresel riskleri nedeniyle allelopatik bitki ekstraktları biyoherbisit olarak değerlendirilmektedir. Bu doğal kaynaklı ajanlar, yabancı ot kontrolünde sürdürülebilir alternatifler sunmaktadır (Albuquerque et al., 2011). Arpa, çeltik ve *Brassica* türlerinin örtücü bitki olarak kullanımı herbisit ihtiyacını azaltabilmektedir (Albuquerque et al., 2011). Buna rağmen allelopati araştırmalarında önemli boşluklar bulunmaktadır; özellikle moleküler hedeflerin tam olarak belirlenmesi gerekmektedir (Mushtaq et al., 2020). Ayrıca laboratuvar ve alan sonuçları her zaman örtüşmemekte olup çevresel faktörler allelopatik etkileri önemli ölçüde değiştirmektedir (Xu et al., 2023). İklim değişikliğinin allelokimyasal üretim ve etkinlik üzerindeki etkileri de henüz tam olarak anlaşılmamıştır (Xu et al., 2023). Son olarak, biyoherbisit uygulamalarında formülasyon ve uygulama yöntemleri konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (Albuquerque et al., 2011).

4. Sonuç

Bu derleme makalede, allelokimyasalların kimyasal yapısı, sınıflandırılması, salınım mekanizmaları, hedef bitkilerdeki etki yolları ve türler arası rekabetteki stratejik rolleri sistematik bir çerçevede ele alınmıştır. Allelokimyasallar, bitkilerin sekonder metabolizma yolları aracılığıyla sentezlenen ve türler arası rekabette kimyasal silahlar olarak işlev gören çeşitli bileşiklerdir.

Allelokimyasalların çevreye salınımı, kök salgıları, yaprak yıkanması, volatilizasyon ve bitki kalıntısı ayrışması gibi çeşitli mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Çevresel stres faktörleri (sıcaklık, su stresi, besin eksikliği, UV radyasyonu, toprak pH'sı) allelokimyasal üretimini ve salınımını önemli ölçüde modüle etmektedir.

Hedef bitkilerde allelokimyasallar, çimlenme inhibisyonu, büyüme baskılanması, fotosentez ve solunum süreçlerinin engellenmesi, besin alımının azalması ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) artışı gibi çok sayıda zararlı etkiye yol açmaktadır.

Ekolojik boyutta allelopati, ototoksisite ve heterotoksisite mekanizmaları aracılığıyla tür içi ve türler arası rekabeti düzenlemekte, istilacı türlerin başarısında "Yeni Silah Hipotezi" çerçevesinde önemli roller üstlenmekte ve bitki toplulukları süksesson dinamiklerini yönlendirmektedir.

Seçilmiş örnek türler (*Centaurea cuneifolia, Solidago canadensis, Hordeum vulgare, Oryza sativa, Juglans regia*) üzerinden sunulan somut vaka analizleri, allelopatinin farklı ekolojik ve tarımsal bağlamlarda nasıl işlev gördüğünü göstermektedir.

Tarihsel gelişim ve güncel araştırma yönelimleri incelendiğinde, allelopati araştırmalarının 20. yüzyılın başlarından günümüze önemli bir evrim geçirdiği görülmektedir. Metabolomik, transkriptomik ve proteomik gibi "omik" yaklaşımların entegrasyonu, allelokimyasalların tanımlanması ve etki mekanizmalarının aydınlatılması açısından önemli ilerlemeler sağlamıştır.

Ancak, hala önemli araştırma boşlukları bulunmaktadır. Fizyolojik ve moleküler mekanizmaların tam olarak aydınlatılması, in vitro ve alan çalışmaları arasındaki uyumsuzluğun giderilmesi, iklim değişikliğinin allelopati üzerindeki etkilerinin anlaşılması, çok türlü etkileşimlerin modellenmesi ve biyoherbisit geliştirme konularında daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Sonuç olarak, allelokimyasallar türler arası rekabette aktif kimyasal silahlar olarak işlev görmekte ve bitki toplulukları içindeki tür kompozisyonunu, süksesyon dinamiklerini ve istilacı türlerin başarısını önemli ölçüde etkilemektedir. Sürdürülebilir tarım uygulamalarında allelopatik yaklaşımların entegrasyonu, kimyasal herbisit kullanımını azaltarak çevresel sürdürülebilirliği artırma potansiyeline sahiptir.

Kaynaklar

Chen, S., Chi, W., Trinh, N., Cheng, K., Chen, Y., Lin, T., Lin, Y., Huang, L., Huang, H., & Chiang, T. (2015). Alleviation of allelochemical juglone-induced phytotoxicity in tobacco plants by proline. *Journal of Plant Interactions, 10*, 167 - 172. https://doi.org/10.1080/17429145.2015.1045946.

de Albuquerque, M.B., dos Santos, R.C., Lima, L.M. *et al.* Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. A review. *Agronomy Sust. Developm.* **31**, 379–395 (2011). https://doi.org/10.1051/agro/2010031

Đorđević, T., Đurović-Pejčev, R., Stevanović, M., Sarić-Krsmanović, M., Radivojević, L., Šantrić, L., & Gajić-Umiljendić, J. (2022). Phytotoxicity and allelopathic potential of Juglans regia L. leaf extract. *Frontiers in Plant Science, 13*. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.986740.

Ercişli, S., Eşitken, A., Turkkal, C., & Orhan, E. (2018). The allelopathic effects of juglone and walnut leaf extracts on yield, growth, chemical and PNE compositions of strawberry cv. Fern. *Plant Soil and Environment, 51*, 283-287. https://doi.org/10.17221/3587-pse.

Fernandez, C., Monnier, Y., Ormeño, E., Baldy, V., Greff, S., Pasqualini, V., Mévy, J. P., & Bousquet-Mélou, A. (2016). The impact of competition and allelopathy on the trade-off between plant defense and growth in two contrasting tree species. *Frontiers in Plant Science*, 7, 594. https://doi.org/10.3389/FPLS.2016.00594

Gibson, D. M., Krasnoff, S. B., Biazzo, J., & Milbrath, L. (2011). Phytotoxicity of antofine from invasive swallow-worts. *Journal of chemical ecology*, *37*(8), 871-879. https://doi.org/10.1007/s10886-011-9994-4

Hickman, D. T., Rasmussen, A., Ritz, K., Birkett, M. A., & Neve, P. (2021). Allelochemicals as multi-kingdom plant defence compounds: Towards an integrated approach. *Pest Management Science*, 77(3), 1121-1131.

Inderjit, Evans, H., Crocoll, C., Bajpai, D., Kaur, R., Feng, Y. L., ... & Callaway, R. M. (2011). Volatile chemicals from leaf litter are associated with invasiveness of a neotropical weed in Asia. *Ecology*, *92*(2), 316-324. **https://doi.org/10.1890/10-0400.1**

Jandová, K. (2014). Secondary metabolites, allelopathy and their significance in the invasion of Heracleum mantegazzianum. (doktora tezi)

Jandová, K., Dostál, P., Cajthaml, T., & Kameník, Z. (2015). Intraspecific variability in allelopathy of Heracleum mantegazzianum is linked to the metabolic profile of root exudates. *Annals of botany*, *115*(5), 821-831. https://doi.org/10.1093/aob/mcu265

Kong, C.-H., Li, Z., Li, F.-L., Xia, X.-X., & Wang, P. (2024). Chemically Mediated Plant–Plant Interactions: Allelopathy and Allelobiosis. *Plants*, *13*(5), 626. https://doi.org/10.3390/plants13050626

Krstić, N., Gajić-Umiljendić, J., Đorđević, T., Šantrić, L., & Sarić-Krsmanović, M. (2022). Allelopathic potential of plant extracts of immature walnut (Juglans regia L.) fruits. *Acta herbologica*. https://doi.org/10.5937/actaherb2202131k.

Latif, S., Chiapusio, G., & Weston, L. A. (2017). Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defence. *Advances in Botanical Research*, 82, 19-54. https://doi.org/10.1016/BS.ABR.2016.12.001

Li, J., Zhao, T., Chen, L. *et al. Artemisia argyi* allelopathy: a generalist compromises hormone balance, element absorption, and photosynthesis of receptor plants. *BMC Plant Biol* **22**, 368 (2022). https://doi.org/10.1186/s12870-022-03757-9

Li, Z. H., Wang, Q., Ruan, X., Pan, C. D., & Jiang, D. A. (2010). Phenolics and plant allelopathy. *Molecules*, 15(12), 8933-8952. https://doi.org/10.3390/MOLECULES15128933

Lorenzo, P., & González, L. (2023). Novel Weapons, Allelopathy and Phytotoxicity: clarifying the role of phytochemistry in the invasiveness of Australian Acacia species. In *Wattles: Australian Acacia Species Around the World* (pp. 300-311). GB: CABI. https://doi.org/10.1079/9781800622197.0019

Macías, F. A., Molinillo, J. M. G., Varela, R. M., & Galindo, J. C. G. (2007). Allelopathy: Chemistry and mode of action of allelochemicals. CRC Press.

Macías, F.A., Durán, A.G., Molinillo, J.M.G. (2020). Allelopathy: The Chemical Language of Plants. In: Kinghorn, A.D., Falk, H., Gibbons, S., Kobayashi, J., Asakawa, Y., Liu, JK. (eds) Progress in the Chemistry of Organic Natural Products 112. Progress in the Chemistry of Organic Natural Products, vol 112. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52966-6_1

Maksimović, T., & Hasanagić, D. (2022). The germination of Triticum aestivum L. and Pisum sativum L. seeds treated with walnut leaf aqueous extract. *Kragujevac Journal of Science*. https://doi.org/10.5937/kgjsci2244199m.

McCoy, R. M., Widhalm, J. R., & McNickle, G. G. (2021). Allelopathy as an evolutionarily stable strategy. *bioRxiv*, 2021-08. https://doi.org/10.1101/2021.08.04.455130

Medič, A., Zamljen, T., Slatnar, A., Hudina, M., & Veberič, R. (2021). Is Juglone the Only Naphthoquinone in Juglans regia L. with Allelopathic Effects?. *Agriculture*. https://doi.org/10.3390/agriculture11080784.

Mushtaq, W., Siddiqui, M. B., & Hakeem, K. R. (2020). Mechanism of action of allelochemicals. In *Allelopathy: Potential for Green Agriculture* (pp. 61-66). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40807-7_7

Palanisamy, S., Vinodhini, G., & Manikandan, R. (2020). Phenolic allelochemicals from crops and weed management. In S. Mérillon & K. G. Ramawat (Eds.), *Co-evolution of secondary metabolites* (pp. 1-24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4890-1_8

Perry, L.G., Weir, T.L., Prithiviraj, B., Paschke, M.W., Vivanco, J.M. (2006). Root Exudation and Rhizosphere Biology: Multiple Functions of a Plant Secondary Metabolite. In: Baluška, F., Mancuso, S., Volkmann, D. (eds) Communication in Plants. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-28516-8_27

Sun, Y., Zhang, Y., Xu, W., & Zhang, Q. (2022). Allelopathic effects of aqueous extracts from different plant parts of Canada goldenrod (Solidago canadensis L.) on seed germination and seedling growth of Korean lawngrass (Zoysia japonica Steud.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 20(2), 1009-1022. https://doi.org/10.15666/aeer/2002_10091022

Tăbăcariu, A. (2021). Walnut (Juglans Regia): A Review of Phytosanitary Properties and Theirs Mathematical Modeling. *BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IAŞI. Secţia Matematica. Mecanică Teoretică. Fizică, 67*, 9 - 25. https://doi.org/10.2478/bipmf-2021-0017.

Thakur, A. (2011). Juglone: A therapeutic phytochemical from Juglans regia L.. *Journal of Medicinal Plants Research, 5*, 5324-5330.

Xu, Y., Chen, X., Ding, L., & Kong, C. (2023). Allelopathy and Allelochemicals in Grasslands and Forests. *Forests*. https://doi.org/10.3390/f14030562.

Yoneyama, K., Xie, X., Kusumoto, D., Sekimoto, H., Sugimoto, Y., Takeuchi, Y., & Yoneyama, K. (2010). Allelochemicals for plant–plant and plant–microbe interactions. In L. Mander & H. W. Liu (Eds.), *Comprehensive natural products II* (Vol. 4, pp. 539-561). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-008045382-8.00105-2

Zubay, P., Kunzelmann, J., Ittzés, A., Zámboriné, É., & Szabó, K. (2021). Allelopathic effects of leachates of Juglans regia L., Populus tremula L. and juglone on germination of temperate zone cultivated medicinal and aromatic plants. *Agroforestry Systems, 95*, 431-442. https://doi.org/10.1007/s10457-020-00572-9.

AKDENİZ ELEMENTİ BAZI LAMIACEAE TAKSONLARINDA EKOLOJiK FAKTÖRLERE BAĞLI FİTOKİMYASAL VARYASYON

Nisa Buket KARA[1], Mustafa PEHLİVAN[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0001-2343-8318

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-8277-6085

Özet

Bitkiler, çevresel stres faktörlerine yanıt vermek ve diğer organizmalarla etkileşime girmek amacıyla sekonder (özel) metabolitler sentezlemekte olup, bu bileşikler bitki-çevre ilişkilerinin biyokimyasal göstergeleri olarak değerlendirilmektedir. Lamiaceae (Ballıbabagiller) familyası, yaklaşık 7.000 türü kapsayan geniş dağılımı ve özellikle Akdeniz havzasındaki yüksek çeşitliliği ile sekonder metabolitler açısından en yoğun çalışılan bitki gruplarından biridir. Türkiye Lamiaceae'sinin %37,4'ü Akdeniz fitocoğrafya bölgesinde yayılış gösterir; bu bölgede taksonların %61'i endemiktir. Akdeniz bölgesi, Lamiaceae için küresel ölçekte bir çeşitlilik ve endemizm merkezidir. Akdeniz'de Lamiaceae, tıbbi ve besin amaçlı yoğun kullanılır; 28 bölgeden 705 çalışma derlemesinde 42 cins, 610 takson kaydedilmiştir.En çok rapor edilen cinsler arasında *Thymus* ,*Origanum*, *Salvia ve Sideritis* bulunmaktadır. Bu taksonların önemli bir bölümü, bileşikler ve flavonoidler bakımından zengin içerikleri nedeniyle halk tıbbında mide ve solunum rahatsızlıklarında kullanılmakta; ayrıca farmasötik, gıda ve kozmetik endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.Lamiaceae türlerinde başlıca biyoaktif bileşik gruplarını terpenoidler, fenolik bileşikler ve flavonoidler oluşturmakta olup bu bileşikler mevalonat (MVA), metileritritol fosfat (MEP) ve fenilpropanoid biyosentez yolları aracılığıyla üretilmektedir. Ancak bu fitokimyasal içerik sabit olmayıp; rakım, sıcaklık, mevsimsel değişimler, su stresi, toprak özellikleri (pH ve mineral içerik) ile UV radyasyonu gibi abiyotik faktörlere bağlı olarak önemli varyasyonlar göstermektedir. Rakım artışıyla birlikte değişen UV radyasyonu ve sıcaklık koşulları, özellikle fenolik bileşik ve flavonoid birikimini artırarak fotoprotektif mekanizmaları tetiklemektedir. Sıcaklık ve mevsimsel değişimler, uçucu yağ bileşimi ile fenolik içerik arasında ters yönlü değişimlere neden olabilmekte; yaz döneminde uçucu yağ verimi artarken, kış döneminde fenolik bileşikler ve antioksidan kapasite yükselmektedir. Kuraklık stresi ise stres seviyesine bağlı olarak etki göstermekte; düşük düzeyde yaşanan stres koşulları sekonder metabolit birikimini teşvik ederken, yoğun stres altında ise metabolik baskılanmaya yol açmaktadır. UV-B radyasyonu , flavonoid ve fenolik bileşik sentezini artıran önemli bir çevresel sinyal olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, ekolojik faktörler Lamiaceae türlerinde fitokimyasal varyasyonu belirleyen temel unsurlar olup, bu değişkenlik bitkisel ürünlerin kalite standardizasyonu, sürdürülebilir üretim ve endüstriyel kullanım açısından kritik öneme sahiptir.

Anahtar kelimeler: Lamiaceae, Fitokimyasal varyasyon, Akdeniz , Çevresel faktörler

Abstract

Plants synthesize secondary (special) metabolites in order to respond to environmental stressors and interact with other organisms, and these compounds are considered as biochemical indicators of plant-environment relationships. The Lamiaceae family is one of the most intensively studied plant groups in terms of secondary metabolites, with its wide distribution of approximately 7,000 species and its high diversity, especially in the Mediterranean basin. 37.4% of the Lamiaceae of Turkey are distributed in the Mediterranean phytogeographical region; In this region, 61% of taxa are endemic. The Mediterranean region is a hub of diversity and endemism for Lamiaceae on a global scale. In the Mediterranean, Lamiaceae are used extensively for medicinal and nutritional purposes; In 705 collections of studies from 28 regions, 42 genera and 610 taxa were recorded. Among the most reported genera are *Thymus*, *Origanum*, *Salvia and Sideritis*. A significant part of these taxa are used in folk medicine for stomach and respiratory ailments due to their rich content in compounds and flavonoids; It is also widely used in the pharmaceutical, food, and cosmetic industries. The main groups of bioactive compounds in Lamiaceae species are terpenoids, phenolic compounds and flavonoids, which are produced through mevalonate (MVA), methylerythritol phosphate (MEP) and phenylpropanoid biosynthesis pathways. However, this phytochemical content is not constant; It shows significant variations depending on abiotic factors such as altitude, temperature, seasonal changes, water stress, soil properties (pH and mineral content) and UV radiation. Changing UV radiation and temperature conditions with altitude increase trigger photoprotective mechanisms, especially by increasing the accumulation of phenolic compounds and flavonoids. Temperature and seasonal changes can cause inverse changes between essential oil composition and phenolic content; While essential oil yield increases in summer, phenolic compounds and antioxidant capacity increase in winter. Drought stress affects depending on the stress level; While low-level stress conditions promote secondary metabolite accumulation, they lead to metabolic suppression under intense stress. UV-B radiation stands out as an important environmental signal that increases the synthesis of flavonoids and phenolic compounds. In conclusion, ecological factors are the key determinants of phytochemical variation in Lamiaceae species, and this variability is critical for the quality standardization of plant products, sustainable production, and industrial use.

Keywords: Lamiaceae, Phytochemical variation, Mediterranean, Environmental factors

1. Giriş

Bitkiler, sabit yaşam biçimleri nedeniyle sıcaklık değişimi, kuraklık, tuzluluk, UV radyasyonu, patojen baskısı ve herbivor saldırısı gibi çevresel etmenlere karşı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal düzeylerde yanıt geliştirmektedir (Jan et al., 2021). Bu yanıtların en önemli biyokimyasal bileşenlerinden biri sekonder metabolitlerdir; terpenoidler, fenolik bileşikler, flavonoidler, alkaloidler ve benzeri özel metabolitler bitkilerde savunma, stres toleransı, antioksidan koruma, allelopatik etkileşim, tozlayıcı çekimi ve çevresel iletişim süreçlerinde görev almaktadır (Jan et al., 2021; Punetha et al., 2022). Sekonder metabolitlerin miktarı ve bileşimi genetik yapıya bağlı olmakla birlikte,

ışık şiddeti, sıcaklık, su durumu, toprak verimliliği, mineral içerik ve tuzluluk gibi çevresel değişkenlerden önemli ölçüde etkilenmektedir (Jan et al., 2021; Alami et al., 2024).

Lamiaceae Martinov, aromatik ve tıbbi bitkiler bakımından en dikkat çekici familyalardan biri olup, dünya genelinde yaklaşık 250 cins ve 7.000'den fazla türle temsil edilmektedir (Chrysargyris, 2024). Familya üyeleri çoğunlukla aromatik otsu veya çalımsı bitkilerden oluşmakta; kare gövde, karşılıklı yaprak dizilişi, zigomorf çiçek yapısı ve uçucu yağ içeren glandüler trikomlar gibi morfolojik ve anatomik özelliklerle tanınmaktadır (Picos-Salas et al., 2021). Lamiaceae türleri özellikle Akdeniz havzasında yoğun çeşitlilik göstermekte ve bu bölge familya için hem taksonomik zenginlik hem de geleneksel kullanım çeşitliliği bakımından önemli bir merkez kabul edilmektedir (Chrysargyris, 2024).

Türkiye, Lamiaceae çeşitliliği açısından Eski Dünya'nın önemli merkezlerinden biridir ve familya Türkiye florasında 48 cins, 782 takson ve yaklaşık %44 endemizm oranı ile temsil edilmektedir (Celep & Dirmenci, 2017). Türkiye Lamiaceae taksonlarının 293'ü Akdeniz fitocoğrafya bölgesinde yayılış göstermekte olup bu oran toplam taksonların %37,4'üne karşılık gelmektedir (Celep & Dirmenci, 2017). Akdeniz fitocoğrafya bölgesinde yer alan Lamiaceae taksonlarının yaklaşık %61'inin endemik olması, bölgenin familya için yalnızca yayılış alanı değil, aynı zamanda önemli bir endemizm ve türleşme merkezi olduğunu göstermektedir (Celep & Dirmenci, 2017).

Lamiaceae türlerinin ekonomik ve etnobotanik önemi, başta *Thymus, Origanum, Salvia, Sideritis* olmak üzere birçok cinsin halk tıbbı, gıda, baharat, kozmetik, parfümeri ve farmasötik alanlarda kullanılmasıyla ilişkilidir (Chrysargyris, 2024; Picos-Salas et al., 2021). Familya üyeleri fenolik asitler, flavonoidler, terpenler, uçucu yağlar ve diğer biyoaktif bileşikler bakımından zengin olup bu bileşikler antioksidan, antimikrobiyal, antiinflamatuvar ve potansiyel terapötik etkilerle ilişkilendirilmektedir (Picos-Salas et al., 2021). Lamiaceae'de fenolik bileşikler ve flavonoidler büyük ölçüde şikimat–fenilpropanoid yolu üzerinden sentezlenirken, terpenoidler mevalonat ve metileritritol fosfat biyosentez yollarıyla ilişkilendirilmektedir (Jan et al., 2021; Picos-Salas et al., 2021).

Bu derleme çalışması, Lamiaceae familyasında sekonder metabolit çeşitliliğinin ekolojik faktörlerle ilişkisini literatür temelli olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada özellikle rakım, sıcaklık, mevsimsel değişim, su stresi, toprak özellikleri ve UV-B radyasyonunun fenolik bileşikler, flavonoidler, terpenoidler, uçucu yağ verimi ve antioksidan kapasite üzerindeki etkileri ele alınmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu derleme çalışmasında , Lamiaceae familyasında sekonder metabolit varyasyonunu ekolojik faktörler bağlamında inceleyen nitel bir literatür derlemesi olarak yapılandırılmıştır. Literatür taramasında "Lamiaceae", "Fitokimyasal varyasyon", "Akdeniz", "Çevresel faktörler"anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Tarama kapsamında Lamiaceae'nin sistematiği, Türkiye'deki fitocoğrafik dağılımı, sekonder metabolit biyosentezi, çevresel stres yanıtları, uçucu yağ bileşimi, fenolik içerik ve antioksidan kapasite üzerine yayımlanmış hakemli makaleler, sistematik derlemeler ve açık erişimli bilimsel kaynaklar değerlendirilmiştir.

Çalışmaya dâhil edilen kaynaklarda üç temel ölçüt esas alınmıştır. İlk olarak, Lamiaceae familyasına ait taksonların fitokimyasal profiline veya sekonder metabolit gruplarına ilişkin veri içeren çalışmalar dikkate alınmıştır. İkinci olarak, rakım, mevsim, sıcaklık, kuraklık, UV-B, toprak ve mineral içerik gibi ekolojik değişkenlerin fitokimyasal içerikle ilişkisini değerlendiren çalışmalar seçilmiştir. Üçüncü olarak, Türkiye ve Akdeniz havzası bağlamında Lamiaceae çeşitliliğini, endemizmini veya geleneksel kullanımını ele alan çalışmalar derleme kapsamına alınmıştır. Literatür taraması kapsamında Web of Science, Scopus, Google Scholar ve ScienceDirect veri tabanlarından yararlanılmıştır.

Verilerin değerlendirilmesinde literatürden elde edilen bulgular "taksonomik ve fitocoğrafik önem", "başlıca sekonder metabolit grupları", "rakım ve mevsim etkisi", "kuraklık ve sıcaklık stresi", "UV-B ve ışık etkisi" ile "kalite standardizasyonu ve endüstriyel kullanım" başlıkları altında sınıflandırılmıştır. Elde edilen veriler deneysel bir meta-analiz olarak değil, literatürde bildirilen eğilimlerin karşılaştırmalı yorumu şeklinde değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

3.1 Lamiaceae Familyasının Fitokimyasal Genel Özellikleri

Literatür verileri, Lamiaceae familyasının hem küresel ölçekte hem de Türkiye florasında yüksek çeşitlilik ve endemizm gösteren bir bitki grubu olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye'de familyanın 48 cins ve 782 taksonla temsil edilmesi, ayrıca 346 taksonun endemik olması, Lamiaceae'nin Türkiye florasındaki taksonomik ağırlığını göstermektedir (Celep & Dirmenci, 2017). Türkiye Lamiaceae taksonlarının %37,4'ünün Akdeniz fitocoğrafya bölgesinde yer alması ve bu bölgedeki taksonların %61'inin endemik olması, Akdeniz havzasının familya için güçlü bir çeşitlilik ve endemizm merkezi olduğunu desteklemektedir (Celep & Dirmenci, 2017).

Lamiaceae türlerinde başlıca sekonder metabolit grupları fenolik asitler, flavonoidler, uçucu yağlar, terpenoidler ve bazı özel fenolik türevler olarak bildirilmektedir (Picos-Salas et al., 2021). *Salvia, Origanum, Thymus* ve *Sideritis* gibi cinsler fenolik asitler ve flavonoidler bakımından zengin kabul edilmekte; bu bileşiklerin antioksidan, antiinflamatuvar ve antimikrobiyal özelliklerle ilişkili olduğu belirtilmektedir (Picos-Salas et al., 2021). Fenolik bileşiklerin bitkilerde biyotik ve abiyotik streslere karşı savunma metabolitleri olarak görev yaptığı ve dağılımlarının tür, organ, fenolojik dönem, yetişme yeri ve çevresel koşullara göre değiştiği bildirilmektedir (Picos-Salas et al., 2021).

b. Ekolojik Faktörlerin Sekonder Metabolizma Üzerine Etkisi

Rakım; sıcaklık, UV radyasyonu, atmosfer basıncı ve nem gibi birçok abiyotik faktörü eş zamanlı olarak etkileyen önemli bir çevresel gradyan olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle rakımın fitokimyasal etkilerinin diğer çevresel değişkenlerden bağımsız biçimde değerlendirilmesi güçlük göstermektedir. Bununla birlikte, mevcut literatürde rakım ile sekonder metabolit birikimi arasında anlamlı ilişkiler bulunduğu bildirilmektedir. Goyal ve ark. (2021) tarafından Batı Himalaya'daki farklı rakım bölgelerinde gerçekleştirilen çalışmada, *Origanum vulgare* populasyonlarında timol oranının orta rakımda en yüksek düzeye ulaştığı belirlenmiştir. Giuliani ve ark. (2013) ise rakım artışıyla birlikte uçucu

yağ içeriği ve glandüler trikom yoğunluğunda azalma meydana geldiğini bildirmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, orta ve yüksek rakımlarda artan UV radyasyonu ile düşük sıcaklık koşullarının fenolik bileşik ve flavonoid birikimini artırdığı kabul edilmektedir (Caldwell et al., 2007). Sıcaklığın, sekonder metabolit biyosentezini enzimatik aktivite ve gen ekspresyonu düzeyinde doğrudan etkilediği bildirilmektedir. *Thymus vulgaris*'te ilkbaharda hasat edilen örneklerde γ-terpinen, timol, karvakrol ve toplam flavonoid içeriğinin daha yüksek olduğunu; sonbaharda ise toplam fenolik içerik ve antioksidan aktivitenin arttığını rapor etmiştir (Tohidi, Rahimmalek, & Arzani, 2017). Chrysargyris ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kış döneminde toplam fenolik içerik ve antioksidan kapasitenin yükseldiği, buna karşılık uçucu yağ veriminin yaz döneminde arttığı belirlenmiştir. Bu durumun, sıcaklığın uçucu yağ sentezini teşvik ederken düşük sıcaklık koşullarının fenolik bileşik sentezini desteklemesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Svydenko (2022), *Salvia* cinsinde toplam polifenol içeriğinin vejetasyon dönemine bağlı olarak önemli değişimler gösterdiğini bildirmiştir. Kuraklık stresinin, Lamiaceae türlerinde sekonder metabolizma üzerinde doz-bağımlı etkiler oluşturduğu bildirilmektedir.Ilımlı su stresinin uçucu yağ verimi ve sekonder metabolit düzeylerini artırdığını; şiddetli stres koşullarında ise biyokütle ve uçucu yağ veriminde belirgin azalmalar meydana geldiğini rapor etmiştir. Bu durumun, ılımlı stres koşullarının savunma metabolizmasını teşvik etmesiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir (Laftouhi, Eddine, Bouzoubaâ, El Merzougui, Bourkhiss, & Bousta, 2023). Kulak (2020) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, tekrarlayan kuraklık stresinin uçucu yağ profilini değiştirdiği ve "stres belleği" etkisi oluşturduğu ifade edilmiştir. Ayrıca kuraklık koşullarında glandüler trikom yoğunluğunun artabileceği yönündeki görüşün literatürde yaygın kabul gördüğü bildirilmektedir. Toprak mineral içeriği ve pH değerinin, bitki büyümesi ve sekonder metabolit biyosentezi üzerinde etkili olduğu bildirilmektedir. Aziz ve ark. (2009), azot düzeyi ve sulama rejiminin uçucu yağ içeriği ile biyokütle üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermiştir. Chrysargyris ve ark. (2021) ise mineral içerikteki farklılıkların fenolik bileşik miktarı ve uçucu yağ bileşimi ile ilişkili olduğunu rapor etmiştir. Yüksek azot düzeylerinin sekonder metabolit sentezini baskılayabileceği ve bu durumun "kaynak rekabeti hipotezi" kapsamında değerlendirildiği belirtilmektedir (Herms & Mattson, 1992). Buna karşılık azot kısıtlı koşullarda savunma metabolizmasına yönelik bileşik üretiminin arttığı ifade edilmektedir. UV-B radyasyonunun, bitkilerde önemli bir stres faktörü olarak görev yaptığı ve flavonoid ile fenolik bileşik sentezini artırdığı bildirilmektedir. Manukyan (2012), UV-B uygulamalarının biyoaktif bileşik içeriği ve antioksidan kapasite üzerinde artırıcı etki gösterdiğini rapor etmiştir. Fotoperiodun ise çiçeklenme süreci ve sekonder metabolit profili üzerinde düzenleyici rol oynadığı ifade edilmektedir. Uzun gün koşullarında uçucu yağ sentezinin arttığı, kısa gün koşullarında ise fenolik bileşik birikiminin teşvik edildiği bildirilmektedir (Figueiredo et al., 2008). Bu durum, Lamiaceae türlerinde kalite standardizasyonu yapılırken yalnızca tür adı ve hasat zamanı değil, yetişme alanının ekolojik ve edafik özelliklerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Chrysargyris et al., 2021).

3.3 Karşılaştırmalı Tablo: Cins × Ekolojik Faktör × Gözlemlenen Fitokimyasal Etki

Tablo 1. Dört Lamiaceae cinsinde ekolojik faktörlerin başlıca fitokimyasal parametreler üzerindeki gözlemlenen etkiler

Ekolojik Faktör	*Thymus*	*Origanum*	*Salvia*	*Sideritis*
Rakım artışı	Karvakrol oranı ↑; toplam fenolik ↑ (UV stres)	Timol oranı değişken (orta rakımda zirve); trikom yoğunluğu ↓	Flavonoid ↑; TPC mevsime bağlı	EO bileşimi ve ana monoterpenler iklime/rakıma bağlı
Yüksek sıcaklık / yaz	EO verimi ↑; timol ↑	EO verimi ↑; karvakrol ↑	EO verimi ↑; TPC ↓	EO verimi ↑; TPC ve antioksidan ↓
Düşük sıcaklık / kış	TPC ↑; antioksidan ↑	TPC ↑; antioksidan ↑	TPC ↑	TPC ↑; antioksidan ↑
Düşük su stresi	EO konsantrasyonu ↑; timol ↑	EO konsantrasyonu ↑; fenolik ↑	Karnosik asit ↑; ROS savunması ↑	Karnosik asit ↑; antioksidan ↑
Şiddetli kuraklık	Biyokütle ↓ EO verimi ↓	Biyokütle ↓ EO verimi ↓	Biyokütle ↓; metabolit profili bozulur.	Biyokütle ↓; metabolit profili bozulur.
UV-B artışı	Flavonoid ↑ Fenolik ↑	Flavonoid ↑ Fenolik ↑	Flavonoid ↑	Flavonoid ↑
Yüksek toprak azotu	EO ↓ (kaynak rekabeti)	EO ↓ Biyokütle ↑	EO ↓ Büyüme ↑	Fenolik/antioksidan ↓
Düşük toprak azotu	EO ↑; fenolik ↑	EO ↑; fenolik ↑	EO ↑; fenolik ↑	EO ↑; fenolik ↑

(Not: ↑ = artış, ↓ = azalış, EO = uçucu yağ, TPC = toplam fenolik içerik.)

4. Tartışma

Literatür bulguları, Lamiaceae türlerinde sekonder metabolit profillerinin statik bir kimyasal özellik olarak değerlendirilemeyeceğini göstermektedir. Aynı tür içinde dahi rakım, mevsim, sıcaklık, su durumu, toprak-mineral içeriği ve UV radyasyonu gibi çevresel değişkenlere bağlı olarak fenolik içerik, flavonoid düzeyi, uçucu yağ verimi ve uçucu yağ bileşimi önemli ölçüde değişebilmektedir (Chrysargyris et al., 2021; Jan et al., 2021). Bu nedenle Lamiaceae türlerinde fitokimyasal çeşitlilik, yalnızca taksonomik kimliğin değil, aynı zamanda yetişme ortamının ve hasat zamanının da sonucu olarak değerlendirilmelidir (Picos-Salas et al., 2021).

Mevsimsel değişimlerin Lamiaceae metabolizması üzerindeki etkisi özellikle dikkat çekicidir. Kış döneminde fenolik bileşikler ve antioksidan kapasitenin artması, düşük sıcaklık ve çevresel stres koşullarında oksidatif hasara karşı koruyucu metabolitlerin birikmesiyle açıklanabilir (Chrysargyris et al., 2021). Yaz döneminde uçucu yağ veriminin artması ise sıcaklık, güneşlenme süresi ve fenolojik dönemle ilişkili olarak terpenoid metabolizmasının daha aktif hâle gelmesiyle bağlantılı olabilir (Chrysargyris et al., 2021). Bu durum, tıbbi-aromatik bitkilerde "en uygun hasat zamanı" kavramının hedeflenen ürün tipine göre değişmesi gerektiğini göstermektedir; fenolik ve antioksidan kapasite hedefleniyorsa farklı, uçucu yağ verimi hedefleniyorsa farklı hasat dönemleri öne çıkabilmektedir (Chrysargyris et al., 2021).

Kuraklık stresi bakımından elde edilen bulgular, sekonder metabolit yanıtının doğrusal olmadığını göstermektedir. Hafif ve kontrollü stres koşulları bitkide savunma metabolizmasını uyararak fenolik bileşik, flavonoid veya uçucu yağ birikimini artırabilirken, şiddetli stres koşulları fotosentez, büyüme ve metabolik enerji dengesini bozarak toplam metabolit üretimini azaltabilmektedir (Punetha et al., 2022; Laftouhi et al., 2023). Bu nedenle Lamiaceae türlerinin tarımsal üretiminde kontrollü stres uygulamaları kaliteyi artırma potansiyeli taşısa da, stresin düzeyi ve süresi tür bazında optimize edilmelidir (Laftouhi et al., 2023).

Rakım ve UV-B etkisi, özellikle fenolik bileşikler ve flavonoidlerin ekolojik işlevini açıklamak bakımından önemlidir. Yüksek rakımlarda artan UV radyasyonu ve değişen sıcaklık rejimi, flavonoidlerin fotoprotektif ve antioksidan rolünü daha belirgin hâle getirebilir (Jan et al., 2021; Kumari & Prasad, 2013). Bununla birlikte rakım etkisinin her türde aynı yönde olmadığı ve bazı çalışmalarda mevsimsel etkinin rakımdan daha güçlü olduğu bildirildiği için, rakım tek başına fitokimyasal kalite göstergesi olarak kullanılmamalıdır (Chrysargyris et al., 2021). Bu nedenle Lamiaceae türlerinde ekolojik yorum yapılırken rakım, sıcaklık, ışık, toprak ve fenolojik dönem birlikte değerlendirilmelidir (Alami et al., 2024).

Türkiye ve Akdeniz havzası bağlamında Lamiaceae'nin yüksek çeşitlilik ve endemizm göstermesi, bu familyayı hem bilimsel araştırmalar hem de sürdürülebilir biyoekonomik kullanım açısından stratejik hâle getirmektedir. Ancak endemik ve dar yayılışlı taksonlarda kontrolsüz toplama, habitat kaybı ve iklim değişikliği baskısı fitokimyasal kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit edebilir (Celep & Dirmenci, 2017). Bu nedenle Lamiaceae türlerinin tıbbi, aromatik ve endüstriyel kullanımında doğal populasyonların korunması, kültüre alma çalışmalarının geliştirilmesi, ekolojik üretim protokollerinin

oluşturulması ve kimyasal standardizasyonun sağlanması gerekmektedir (Chrysargyris et al., 2021; Picos-Salas et al., 2021).

4. Sonuç

Bu derleme, Lamiaceae familyasında sekonder metabolit varyasyonunun genetik, ekolojik ve fenolojik faktörlerin ortak etkisiyle şekillendiğini ortaya koymaktadır. Familya üyelerinde fenolik bileşikler, flavonoidler, terpenoidler ve uçucu yağlar başlıca biyoaktif bileşik gruplarını oluşturmakta; bu bileşiklerin miktarı ve bileşimi rakım, mevsim, sıcaklık, kuraklık, UV-B radyasyonu ve toprak-mineral özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir (Jan et al., 2021; Picos-Salas et al., 2021; Chrysargyris et al., 2021).

Akdeniz havzası ve Türkiye, Lamiaceae çeşitliliği ve endemizmi bakımından kritik öneme sahiptir. Türkiye'de Lamiaceae'nin yüksek takson sayısı, %44 civarındaki endemizm oranı ve Akdeniz fitocoğrafya bölgesindeki yoğun temsil gücü, bu familyanın hem floristik hem de fitokimyasal araştırmalar için öncelikli bir grup olduğunu göstermektedir (Celep & Dirmenci, 2017).

Elde edilen literatür bulguları, Lamiaceae türlerinde kalite standardizasyonunun yalnızca tür teşhisine dayandırılamayacağını göstermektedir. Hasat zamanı, yetişme rakımı, iklim koşulları, su durumu, toprak-mineral içeriği ve UV maruziyeti gibi faktörler, bitkisel ürünlerin etkin madde içeriğini doğrudan etkileyebilmektedir (Chrysargyris et al., 2021; Alami et al., 2024). Bu nedenle tıbbi-aromatik bitki üretiminde ekolojik izlenebilirlik, kontrollü yetiştiricilik, uygun hasat dönemi belirleme ve fitokimyasal standardizasyon birlikte ele alınmalıdır.

Sonuç olarak Lamiaceae familyası, sekonder metabolit çeşitliliği, geleneksel kullanım değeri, endüstriyel potansiyeli ve ekolojik duyarlılığı nedeniyle biyoloji, farmakognozi, gıda, kozmetik, tarım ve sürdürülebilir üretim alanlarında disiplinlerarası araştırmalar için güçlü bir model grup niteliğindedir. Gelecek çalışmalarda aynı türün farklı rakım, mevsim ve stres koşullarında LC-MS/MS, GC-MS, HPLC-DAD ve metabolomik yaklaşımlarla karşılaştırılması, Lamiaceae türlerinde ekolojik-kimyasal standardizasyonun geliştirilmesine önemli katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

Alami MM, Guo S, Mei Z, Yang G, Wang X. 2024. Environmental factors on secondary metabolism in medicinal plants: exploring accelerating factors. Medicinal Plant Biology 3: e016

Azizi, M., Rahmati, M., Hasanzadeh Khayyat, M., & Liyaghat, A. (2009). The effects of different levels of nitrogen and irrigation on herbage yield, essential oil content and quality of oregano (*Origanum vulgare* L.). *Journal of Horticultural Science*, *23*(1), 67–74.

Caldwell, M. M., Bornman, J. F., Ballaré, C. L., Flint, S. D., & Kulandaivelu, G. (2007). Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation, and interactions with other climate change factors. *Photochemical & Photobiological Sciences*, *6*(3), 252–266. https://doi.org/10.1039/b700019g

Celep, F., & Dirmenci, T. (2017). Systematic and biogeographic overview of Lamiaceae in Turkey. *Natural Volatiles and Essential Oils, 4*(4), 14–27.

Chrysargyris, A. (2024). It Runs in the Family: The Importance of the Lamiaceae Family Species. Agronomy, 14(6), 1274. https://doi.org/10.3390/agronomy14061274

Chrysargyris, A., Evangelides, E., & Tzortzakis, N. (2021). Seasonal Variation of Antioxidant Capacity, Phenols, Minerals and Essential Oil Components of Sage, Spearmint and Sideritis Plants Grown at Different Altitudes. *Agronomy*, *11*(9), 1766. https://doi.org/10.3390/agronomy11091766

Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., & Scheffer, J. J. C. (2008). Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, *23*(4), 213–226. https://doi.org/10.1002/ffj.1875

Giuliani, C., Maggi, F., Papa, F., Maleci Bini, L., & Bonacquisti, S. (2013). Congruence of phytochemical and morphological profiles along an altitudinal gradient in *Origanum vulgare* ssp. *vulgare* from Venetian Region (NE Italy). *Chemistry & Biodiversity*, *10*(4), 729–745. https://doi.org/10.1002/cbdv.201300019

Goyal, S., Tewari, G., Sah, P., & Verma, R. K. (2021). Exploration of productivity, chemical composition, and antioxidant potential of *Origanum vulgare* L. grown at different geographical locations of Western Himalaya, India. *Journal of Chemistry*, *2021*, 6683300. https://doi.org/10.1155/2021/6683300

Herms, D. A., & Mattson, W. J. (1992). The dilemma of plants: To grow or defend. *The Quarterly Review of Biology*, *67*(3), 283–335. https://doi.org/10.1086/417659

Jan, R., Asaf, S., Numan, M., Lubna, & Kim, K.-M. (2021). Plant Secondary Metabolite Biosynthesis and Transcriptional Regulation in Response to Biotic and Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*, *11*(5), 968. https://doi.org/10.3390/agronomy11050968

Kulak, M. (2020). Recurrent drought stress effects on growth, essential oil content, composition and antioxidant capacity of *Salvia officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, *155*, 112785. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112785

Kumari, R., Prasad, M.N.V. (2013). Medicinal Plant Active Compounds Produced by UV-B Exposure. In: Lichtfouse, E. (eds) Sustainable Agriculture Reviews. Sustainable Agriculture Reviews, vol 12. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5961-9_8

Laftouhi, A., Eddine, L. S., Bouzoubaâ, Z., El Merzougui, S., Bourkhiss, B., & Bousta, D. (2023). Effects of climate change scenarios on the essential oil yield and secondary metabolites of *Mentha pulegium* L. *Industrial Crops and Products*, *195*, 116455. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116455

Laftouhi, A., Eloutassi, N., Ech-Chihbi, E., Rais, Z., Abdellaoui, A., Taleb, A., Beniken, M., Nafidi, H.-A., Salamatullah, A. M., Bourhia, M., & Taleb, M. (2023). The Impact of Environmental Stress on the Secondary Metabolites and the Chemical Compositions of the Essential Oils from Some Medicinal Plants Used as Food Supplements. *Sustainability*, *15*(10), 7842. https://doi.org/10.3390/su15107842

Manukyan, A. (2012). Effects of PAR and UV-B radiation on herbal yield, bioactive compounds and their antioxidant capacity of some medicinal plants under controlled environmental conditions. *Photochemistry and Photobiology*, *88*(2), 406–413. https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2012.01242.x

Picos-Salas, M. A., Heredia, J. B., Leyva-López, N., Ambriz-Pérez, D. L., & Gutiérrez-Grijalva, E. P. (2021). Extraction Processes Affect the Composition and Bioavailability of Flavones from Lamiaceae Plants: A Comprehensive Review. *Processes*, *9*(9), 1675. https://doi.org/10.3390/pr9091675

Punetha, A., Kumar, D., Suryavanshi, P., Padalıa, R., & K.t., V. (2022). Environmental Abiotic Stress and Secondary Metabolites Production in Medicinal Plants: A Review. Journal of Agricultural Sciences, 28(3), 351-362. https://doi.org/10.15832/ankutbd.999117

Svydenko, L. V. (2022). Polyphenol accumulation dynamics in *Salvia officinalis* L. during vegetation. *Industrial Crops and Products*, *176*, 114312. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114312

Tohidi, B., Rahimmalek, M., & Arzani, A. (2017). Essential oil composition, total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of *Thymus* species collected from different regions of Iran. *Food Chemistry, 220*, 153–161. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.203

MAHLEP (*Prunus mahaleb* L.) BİTKİSİNİN ETNOBOTANİK VE EKOLOJİK ÖNEMİ

Rabia CEYLAN[1], Nazım ŞEKEROĞLU[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü
Gaziantep,Türkiye, Orcid: 0009-0006-4999-6306
[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü
Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-0630-0106

ÖZET

Geleneksel etnobotanik bilgi, özellikle kırsal alanlarda yaşayan yaşlı nesiller arasında hala canlı olmasına rağmen, genç kuşaklara aktarımında ciddi kesintiler yaşanmaktadır. Küreselleşme, göç ve modern yaşam tarzının yaygınlaşması, yerel bitki kullanımlarına ilişkin bilginin erozyonuna yol açmaktadır. Bu durum, yalnızca kültürel bir kayıp değil, aynı zamanda potansiyel terapötik ve ekonomik değere sahip bitki kaynaklarının gözden kaçırılması anlamına gelmektedir.

Prunus mahaleb L. (mahlep), Rosaceae familyasına ait, Akdeniz havzası ve Anadolu'da yaygın olarak yetişen, çok yönlü kullanım potansiyeline sahip bir odunsu bitki türüdür. Bu çalışmanın amacı, mahlep bitkisinin etnobotanik kullanımlarını, fitokimyasal içeriğini ve ekolojik önemini sistematik bir literatür taraması ile ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında, Google Scholar, Web of Science, Scopus ve PubMed veri tabanlarında gerçekleştirilen kapsamlı literatür taraması sonucunda, Türkiye ve dünya literatüründen ilgili literatürler değerlendirildi. Bulgular, mahlep tohumlarının geleneksel olarak baharat ve gıda katkı maddesi olarak kullanıldığını, özellikle Türk, Yunan ve Orta Doğu mutfaklarında çörek, ekmek ve tatlı yapımında tercih edildiğini göstermiştir. Fitokimyasal analizler, bitkinin tohumlarında kumarinler (özellikle dihidrokumarin), antosiyaninler, fenolik asitler, flavonoidler ve uçucu yağlar içerdiğini ortaya koymuştur (Orlando et al., 2021; Gerardi et al., 2015; Zan, 2022; Blando et al., 2016; Mostafa et al., 2023). Bu bileşikler, güçlü antioksidan, antimikrobiyal, anti-inflamatuar ve enzim inhibisyon aktiviteleri sergilemektedir

(Oskoueian, 2012; Dashtizadeh, 2023; Ieri, 2012; Güven et al., 2022). Geleneksel tıpta mahlep, sindirim sistemi rahatsızlıklarında, solunum yolu enfeksiyonlarında ve antiseptik amaçlarla kullanılmaktadır (Eroğlu, 2023). Ekolojik açıdan, tür kuru ve kireçli topraklara adaptasyon göstermekte, erozyon kontrolünde rol oynamakta ve kuşlar ile memeliler aracılığıyla tohum yayılımı gerçekleştirmektedir (Husein, 2024; Jordano et al., 2000). Sonuç olarak, *Prunus mahaleb* gıda, ilaç ve kozmetik endüstrisi için önemli bir potansiyel taşımakta olup, geleneksel bilginin kaybolması riski ve habitat kaybı nedeniyle koruma ve sürdürülebilir kullanım stratejilerine acil ihtiyaç bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: etnobotanik, geleneksel kullanım, *Prunus mahaleb*, tıbbi bitkiler, Türkiye florası

GİRİŞ

Etnobotaniğin Tanımı ve Önemi

Etnobotanik, insan toplulukları ile bitkiler arasındaki karmaşık ilişkileri inceleyen disiplinler arası bir bilim dalıdır. Bu alan, bitkilerin geleneksel kullanımlarını, kültürel önemini ve yerel toplulukların bitkisel kaynaklardan yararlanma stratejilerini sistematik olarak araştırmaktadır. Etnobotanik çalışmalar, yalnızca geleneksel bilginin belgelenmesini sağlamamakta, aynı zamanda yeni ilaç keşfi, gıda güvenliği ve biyolojik çeşitliliğin korunması açısından da kritik öneme sahip bulunmaktadır. İnsan-bitki etkileşimlerinin anlaşılması, sürdürülebilir kaynak yönetimi ve kültürel mirasın korunması için temel oluşturmaktadır. Bitkilerin ekonomik ve kültürel değeri, tarih boyunca toplumların gelişiminde merkezi bir rol oynamıştır. Özellikle Akdeniz havzası, zengin florası ve uzun tarihsel geçmişi nedeniyle etnobotanik açıdan büyük önem taşımaktadır. Bu bölgede yetişen birçok bitki türü, gıda, ilaç, boya, lif ve ritüel amaçlarla kullanılmış ve bu bilgi kuşaklar boyunca sözlü gelenekle aktarılmıştır. Ancak modernleşme, kentleşme ve kültürel değişimler, bu değerli geleneksel bilginin hızla kaybolmasına neden olmaktadır.

Geleneksel etnobotanik bilgi, özellikle kırsal alanlarda yaşayan yaşlı nesiller arasında hala canlı olmasına rağmen, genç kuşaklara aktarımında ciddi kesintiler yaşanmaktadır. Küreselleşme, göç ve modern yaşam tarzının yaygınlaşması, yerel bitki kullanımlarına ilişkin bilginin erozyonuna yol açmaktadır. Bu durum, yalnızca kültürel bir kayıp değil, aynı zamanda potansiyel terapötik ve ekonomik değere sahip bitki kaynaklarının gözden kaçırılması anlamına gelmektedir.

Prunus mahaleb L., Akdeniz havzası ve Anadolu'da doğal olarak yetişen, geleneksel olarak çok yönlü kullanımlara sahip bir bitki türüdür. Bitkinin tohumları, özellikle Türk mutfağında "mahlep" adıyla bilinen ve karakteristik aroması ile değer gören bir baharat olarak kullanılmaktadır (Orlando et al., 2021; Mostafa et al., 2023). Ayrıca, geleneksel tıpta çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde yer almakta ve meyveleri doğal gıda boyası kaynağı olarak değerlendirilmektedir (Gerardi et al., 2015). Bununla birlikte, türün etnobotanik kullanımlarına ilişkin sistematik ve kapsamlı bir derleme eksikliği bulunmaktadır. Sürdürülebilir kullanım, biyolojik çeşitliliğin korunması ve yerel ekonomilerin desteklenmesi açısından, *Prunus mahaleb* gibi az değerlendirilmiş bitki türlerinin potansiyelinin ortaya konması gerekmektedir. Bitkinin fitokimyasal içeriği ve biyolojik aktiviteleri üzerine yapılan güncel araştırmalar, geleneksel kullanımların bilimsel temellerini anlamak ve yeni uygulama alanları geliştirmek için önemli fırsatlar sunmaktadır (Zan, 2022; Blando et al., 2016; Mostafa et al., 2023).

Bu çalışmanın temel amacı, *Prunus mahaleb* L. bitkisinin etnobotanik kullanımlarını, fitokimyasal kompozisyonunu, biyolojik aktivitelerini ve ekolojik önemini sistematik bir literatür taraması ile kapsamlı şekilde ortaya koymaktır. Bu bağlamda, bitkinin gıda, tıbbi

ve kültürel kullanımları, coğrafi dağılımı, habitat tercihleri, morfolojik özellikleri ve koruma durumu detaylı olarak incelenmiştir. Çalışma, Türkiye ve dünya literatüründeki bilgileri sentezleyerek, geleneksel bilgi ile modern bilimsel verileri karşılaştırmayı ve türün sürdürülebilir kullanımı için öneriler sunmayı hedeflemektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, *Prunus mahaleb* L. bitkisinin etnobotanik, fitokimyasal ve ekolojik özelliklerini ortaya koymak amacıyla sistematik literatür taraması yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Literatür taraması, bilimsel yayınların sistematik olarak tanımlanması, seçilmesi, değerlendirilmesi ve sentezlenmesi sürecini içermektedir.

Veri Tabanları: Literatür taraması, uluslararası kabul görmüş akademik veri tabanları üzerinden yürütülmüştür. Bu kapsamda Google Scholar, Web of Science, Scopus ve PubMed veri tabanları kullanılmıştır. Bu veri tabanlarının seçiminde, geniş kapsam, güncel içerik ve multidisipliner erişim kriterleri dikkate alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tarama sürecinde kullanılan anahtar kelimeler şunlardır: "*Prunus mahaleb*", "mahlep", "mahlab", "St. Lucie cherry", "ethnobotany", "traditional use", "phytochemistry", "coumarin", "flavonoid", "anthocyanin", "antioxidant", "antimicrobial", "Turkey flora", "distribution", "ecology", "morphology". Anahtar kelimeler, Türkçe ve İngilizce olarak, tekil ve çeşitli kombinasyonlarda kullanılmıştır.

Dahil Etme Kriterleri: Çalışmaya dahil edilen yayınlar aşağıdaki kriterleri karşılamaktadır:

1. *Prunus mahaleb* türüne doğrudan odaklanan veya türü önemli ölçüde ele alan çalışmalar

2. Etnobotanik kullanımlar, fitokimyasal kompozisyon, biyolojik aktiviteler, taksonomi, morfoloji, ekoloji veya coğrafi dağılım konularından en az birini içeren çalışmalar
3. Hakemli dergilerde yayımlanmış orijinal araştırma makaleleri, derleme makaleleri, kitap bölümleri ve tezler
4. İngilizce, Türkçe veya diğer dillerde yayımlanmış, erişilebilir tam metin veya özete sahip yayınlar
5. Herhangi bir zaman kısıtlaması olmaksızın, tarihsel ve güncel yayınlar

Hariç Tutma Kriterleri: Aşağıdaki kriterleri taşıyan yayınlar çalışma dışında bırakılmıştır:

1. *Prunus mahaleb* türüne hiç değinmeyen veya yalnızca geçiş niteliğinde bahseden çalışmalar
2. Tam metin veya özet erişimi olmayan yayınlar
3. Bilimsel yöntem içermeyen, kanıta dayalı olmayan popüler yayınlar
4. Tekrarlanan veya aynı veri setini kullanan çalışmalar (en kapsamlı olanı dahil edilmiştir)

Tarama ve Seçim Süreci: İlk aşamada, belirlenen anahtar kelimeler kullanılarak veri tabanlarında kapsamlı tarama gerçekleştirilmiş ve toplam 508 potansiyel yayın tespit edilmiştir. İkinci aşamada, başlık ve özet incelemesi yapılarak, dahil etme ve hariç tutma

kriterlerine göre ön eleme gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada, seçilen yayınların tam metinleri incelenmiş ve nihai değerlendirme yapılmıştır. Bu süreç sonucunda, 356 akademik yayın çalışmaya dahil edilmiştir.

Veri Çıkarımı ve Sentez: Seçilen yayınlardan, bitkinin etnobotanik kullanımları, fitokimyasal bileşenleri, biyolojik aktiviteleri, morfolojik özellikleri, coğrafi dağılımı, habitat tercihleri ve ekolojik rolü ile ilgili veriler sistematik olarak çıkarılmıştır. Veriler, tematik kategorilere ayrılarak analiz edilmiş ve sentezlenmiştir. Çalışmada, yalnızca literatürde yer alan bilgiler kullanılmış, herhangi bir uydurma veri veya kaynak eklenmemiştir.

TAKSONOMİ VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLER

Prunus mahaleb L., Rosaceae (Gülgiller) familyasına, Prunoideae alt familyasına ve *Prunus* cinsine ait bir türdür. Tür, Linnaeus tarafından 1753 yılında *Species Plantarum* eserinde tanımlanmıştır (FLORA, 2024). Türkiye florasında *Prunus* cinsi, çeşitli türlerle temsil edilmekte olup, *P. mahaleb* bu cins içinde önemli bir yere sahiptir (Dönmez, 2000).

Morfolojik Özellikler: *Prunus mahaleb*, çalı veya küçük ağaç formunda, genellikle 2-10 metre yüksekliğe ulaşan, yaprak döken (deciduous) bir odunsu bitkidir (FLORA, 2024). Gövde, genç bireylerde düz ve gri-kahverengi kabuklu, yaşlı bireylerde ise çatlaklı ve koyu renkli bir yapıya sahiptir. Dallar, genellikle dikensizdir ve genç sürgünler tüysüz veya hafif tüylü olabilir. Yapraklar, alternat dizilişli, basit, geniş yumurta şeklinden yuvarlağa kadar değişen formlarda, 3-7 cm uzunluğunda ve 2-5 cm genişliğindedir (FLORA, 2024). Yaprak kenarları, düzensiz dişli veya krenattır. Yaprak ucu, genellikle sivri veya kısa uçludur. Yaprak tabanı, yuvarlak veya hafif kalp şeklindedir. Yaprak sapı, 1-3 cm uzunluğunda olup, genellikle iki bezecik taşımaktadır. Yapraklar, taze halde koyu yeşil, kuruduğunda ise sarımsı-kahverengi renk almaktadır.

Çiçekler, beyaz renkli, 5 petalli, hermafrodit yapıda ve hoş kokulu olup, 1-2 cm çapındadır (FLORA, 2024). Çiçekler, 3-10 çiçekten oluşan salkım (corymb) şeklinde çiçek durumlarında toplanmıştır. Çiçeklenme, genellikle ilkbahar aylarında (Nisan-Mayıs) gerçekleşmektedir. Çiçek sapları, 1-3 cm uzunluğundadır. Çanak yaprakları, 5 adet, yeşilimsi ve geriye kıvrıktır. Taç yaprakları, 5 adet, beyaz, yuvarlak veya hafif oval şekildedir. Erkek organlar (stamenler), çok sayıda (20-30) olup, sarı anther taşımaktadır. Dişi organ (pistil), tek karpelli, üst durumlu yumurtalıktır.

Meyve, etli bir drupa (taş meyve) olup, küresel veya hafif oval şekilde, 6-10 mm çapında, olgunlaşınca parlak siyah renk almaktadır (FLORA, 2024). Meyve eti, ince ve acımsı tatta olup, içinde tek bir sert tohum (endokarp) bulunmaktadır. Tohum, oval veya hafif basık şekilde, 5-8 mm uzunluğunda, açık kahverengi renklidir. Tohumlar, karakteristik badem-kiraz benzeri aromatik kokuya sahiptir ve bu özellik, bitkinin gıda endüstrisinde kullanımının temelini oluşturmaktadır (Orlando et al., 2021; Mostafa et al., 2023).

YAYILIŞ VE EKOLOJİ

Coğrafi Dağılım

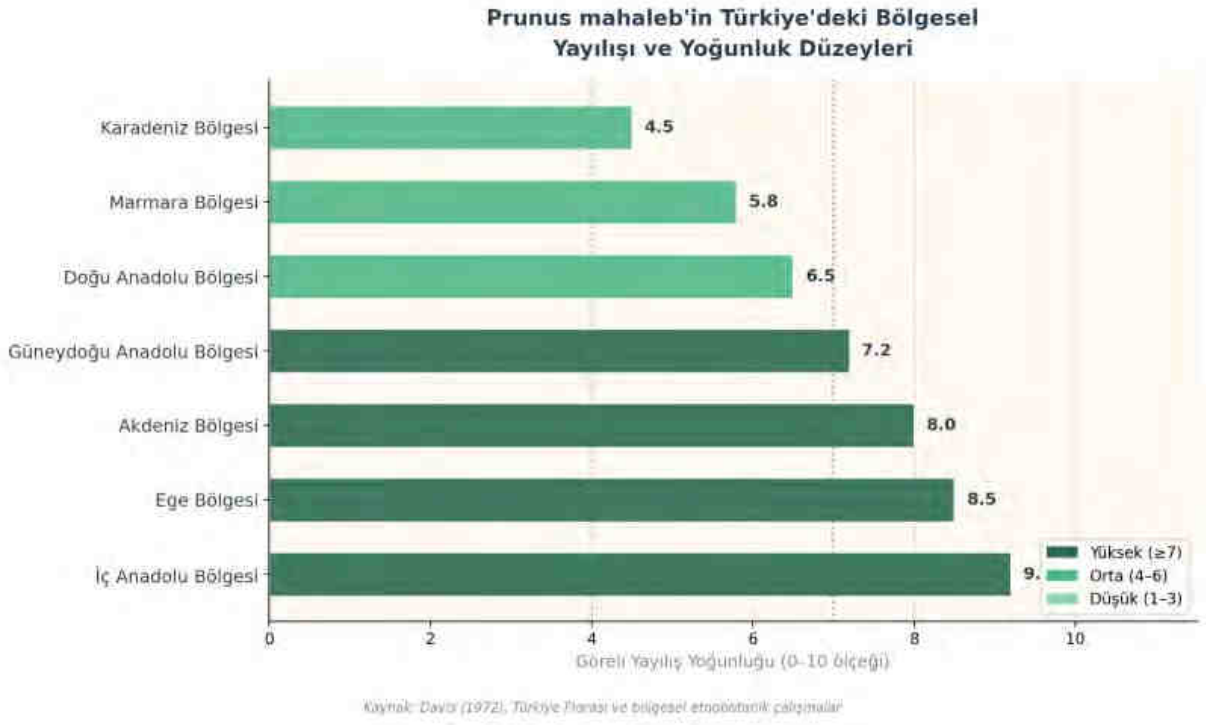
Prunus mahaleb, Güney Avrupa ve Güneybatı Asya orijinli bir tür olup, geniş bir coğrafi yayılış alanına sahiptir (FLORA,

2024). Türün doğal yayılış alanı, Akdeniz havzası, Orta Avrupa'nın güney kesimleri, Balkanlar, Anadolu, Kafkasya ve Orta

Asya'nın bazı bölgelerini kapsamaktadır (Ibrahim et al., 2024). Avrupa'da, İspanya'nın kuzeyinden İsveç'in güneyine, Britanya Adaları'ndan Volga bölgesine kadar uzanan bir dağılım göstermektedir (Hübner, 2004). Akdeniz bölgesinde, İtalya, Yunanistan, Lübnan ve Filistin'de de doğal populasyonlar bulunmaktadır. Türkiye, *Prunus mahaleb* için önemli bir gen merkezi ve doğal yayılış alanıdır. Bitki, Türkiye'nin hemen hemen tüm bölgelerinde, özellikle İç Anadolu, Ege, Akdeniz, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde yaygın olarak bulunmaktadır (Dönmez, 2000; Özyurt et al., 2013). Türkiye'de, özellikle İç Anadolu'nun sıcak ve kuru iklim koşullarına sahip bölgelerinde, kireçli ve kuru topraklarda bol miktarda yetişmektedir (Özyurt et al., 2013). Tokat, Sivas, Yozgat, Ankara, Konya ve Kayseri gibi illerde doğal populasyonlar yaygındır. Ayrıca, Doğu Akdeniz'in dağlık kesimlerinde, özellikle Kilikya göknarı (*Abies cilicica*) ve Lübnan sediri (*Cedrus libani*) ile izole populasyonlar oluşturmaktadır (Husein, 2024).

Şekil 4. *Prunus mahaleb*'in Türkiye'deki yedi coğrafi bölgeye göre göreli yayılış yoğunluğu. İç Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgeleri en yüksek yoğunluğa sahiptir.

[Image blocked: Şekil 4 – Türkiye Bölgesel Yayılışı]



Şekil 4. Prunus mahaleb'in Türkiye'deki bölgesel yayılışı ve yoğunluk düzeyleri (Davis, 1972; bölgesel etnobotanik çalışmalar).

Habitat Özellikleri

Prunus mahaleb, ekolojik açıdan geniş toleransa sahip bir tür olup, çeşitli habitat tiplerinde yetişebilmektedir. Bitki, genellikle çalılık alanlar, orman kenarları, kayalık yamaçlar, step vejetasyonu ve karışık meşe ormanlarında bulunmaktadır (FLORA, 2024; Babayeva, 2024). Deniz seviyesinden 2450 metreye kadar değişen rakımlarda yetişebilmekte, ancak en yaygın olarak 300-1800 metre rakımlar arasında görülmektedir (Dönmez, 2000; Hübner, 2004).

Tür, kuru ve yarı-kuru iklim koşullarına iyi uyum sağlamıştır ve sıcak, güneşli lokasyonları tercih etmektedir (FLORA, 2024). Toprak tercihi açısından, kireçli (kalkerli), bazik (pH 5.5-8.5), iyi drene olmuş, besin maddesi açısından fakir topraklarda başarılı bir şekilde gelişmektedir (FLORA, 2024; Özyurt et al., 2013). Özellikle kireçli ve kuru topraklara olan adaptasyonu, bitkinin meyve ağaçları için anaç olarak kullanımını da mümkün kılmaktadır (Özyurt et al., 2013). Nemli alanlarda da yetişebilmekte, ancak bu koşullarda diken yapıları zayıflamaktadır (Hübner, 2004).

İklim açısından, *Prunus mahaleb* karasal ve yarı-karasal iklim koşullarına uyum sağlamış bir türdür (FLORA, 2024). Sıcak ve kuru yaz aylarına, soğuk kış aylarına dayanıklıdır. Türkiye'de, özellikle İç Anadolu'nun sıcak ve kuru iklim koşullarına sahip bölgelerinde geniş popülasyonlar oluşturmaktadır (Özyurt et al., 2013). Akdeniz ikliminin hâkim olduğu bölgelerde daha az yaygındır (Dönmez, 2000).

Ekolojik Rol

Prunus mahaleb, ekolojik açıdan çeşitli önemli roller üstlenmektedir. Bitkinin güçlü ve derin kök sistemi, toprak tutma ve erozyon kontrolünde etkili olmaktadır (Husein, 2024). Özellikle kayalık yamaçlarda ve dik eğimli alanlarda, köklerin kayaların çatlaklarına nüfuz etmesi, toprağın stabilizasyonunu sağlamakta ve erozyon riskini azaltmaktadır (Husein, 2024). Bu özellik, özellikle Akdeniz havzasının dağlık ve eğimli arazilerinde önem taşımaktadır.

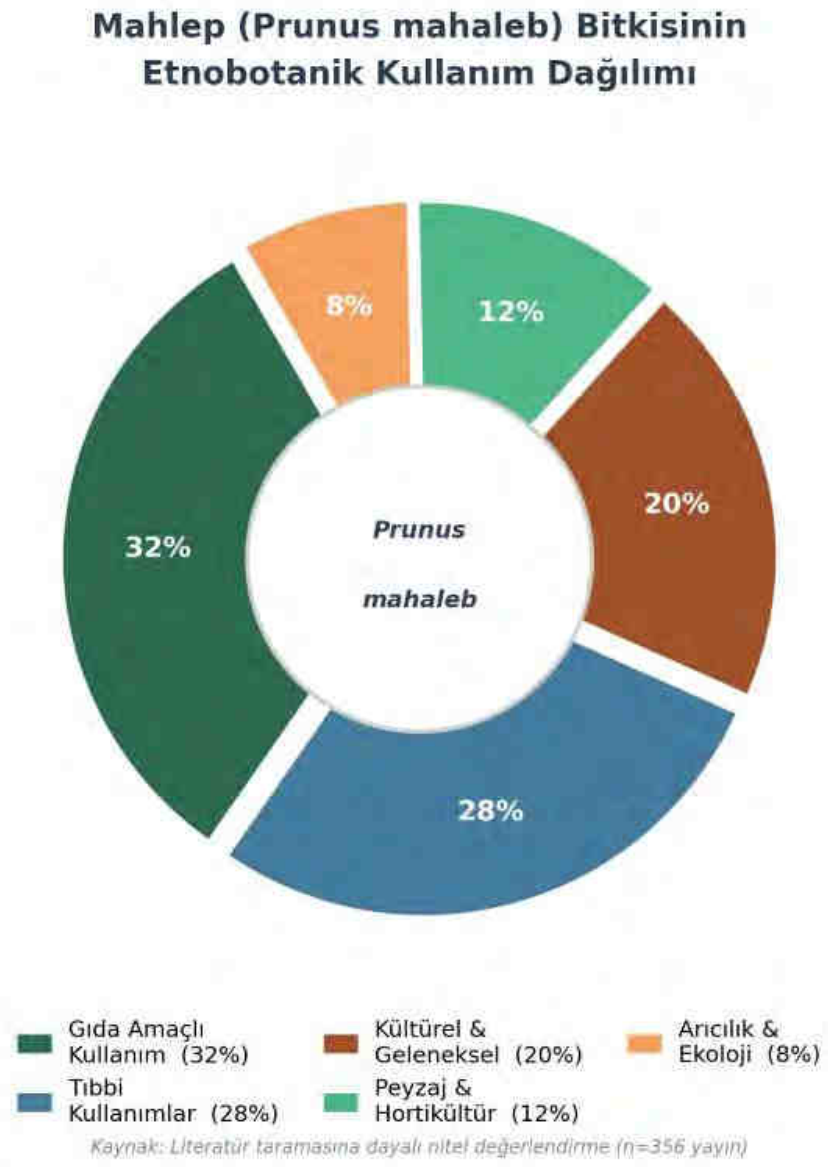
Bitki, fauna ile önemli etkileşimlere sahiptir. Meyveleri, orta ve büyük boy meyvesever kuşlar (frugivorous birds) ve memeliler tarafından tüketilmekte ve tohumlar bu hayvanlar aracılığıyla uzun mesafelere yayılmaktadır. Bu zoochory (hayvanlar aracılığıyla tohum yayılımı) mekanizması, türün genetik çeşitliliğinin korunmasında ve yeni habitatlara kolonizasyonunda kritik rol oynamaktadır. Kuşlar ve memelilerin tohum yayılımındaki rolü, populasyonlar arası gen akışını artırmakta ve yerel farklılaşmayı dengelemektedir (Jordano et al., 2000).

Çiçeklenme döneminde, *Prunus mahaleb* çiçekleri, arılar ve diğer polinatörler için önemli bir nektar ve polen kaynağı oluşturmaktadır. Bitkinin erken ilkbahar çiçeklenmesi, polinatörlerin aktif olduğu dönemle örtüşmekte ve bölgesel biyolojik çeşitliliğe katkı sağlamaktadır. Ayrıca, bitki peyzaj düzenlemelerinde, park ve bahçelerde süs bitkisi olarak kullanılmakta ve estetik değer taşımaktadır (Erkara et al.).

ETNOBOTANİK KULLANIMLAR

Şekil 1. *Prunus mahaleb* bitkisinin etnobotanik kullanım kategorilerine göre literatürdeki temsil oranları (n = 356 yayın). Gıda amaçlı kullanımlar en yüksek paya sahipken, tıbbi kullanımlar ikinci sırada yer almaktadır.

[Image blocked: Şekil 1 – Etnobotanik Kullanım Dağılımı]



Şekil 1. Mahlep (Prunus mahaleb) bitkisinin etnobotanik kullanım dağılımı (Literatür taramasına dayalı nitel değerlendirme, n = 356 yayın).

Gıda Amaçlı Kullanım

Prunus mahaleb tohumları, "mahlep" veya "mahlab" adıyla bilinen ve karakteristik aromatik özelliği ile değer gören geleneksel bir baharat olarak kullanılmaktadır (Orlando et al., 2021; Mostafa et al., 2023; Gerardi et al., 2015). Mahlep baharatı, özellikle Türk, Yunan, Ermeni ve Orta Doğu mutfaklarında yaygın olarak tercih edilmektedir. Tohumlar,

kurutulduktan sonra öğütülerek toz haline getirilmekte ve bu form, çeşitli gıda ürünlerinde lezzet ve aroma verici olarak kullanılmaktadır.

Türkiye'de, mahlep özellikle çörek, paskalya çöreği, kurabiye, kek ve tatlı yapımında kullanılmaktadır (Orlando et al., 2021; Mostafa et al., 2023). Geleneksel Türk çöreği olan "paskalya çöreği" ve "çörek otu"nda, mahlep vazgeçilmez bir bileşendir. Ayrıca, bazı bölgelerde ekmek yapımında da tercih edilmektedir. Mahlep, hamur işlerinde hem lezzet hem de koku verici olarak işlev görmekte, ürünlere badem-kiraz çekirdeği benzeri karakteristik bir aroma kazandırmaktadır.

Yunanistan'da, mahlep "mahlep" veya "mahlepi" adıyla bilinmekte ve geleneksel paskalya ekmeklerinde (tsoureki) kullanılmaktadır. Orta Doğu mutfaklarında ise, özellikle tatlı ve hamur işlerinde tercih edilmektedir. Ermeni mutfağında, "mahleb" adıyla bilinen baharat, çeşitli geleneksel yemeklerde ve tatlılarda yer almaktadır.

Prunus mahaleb meyveleri, yüksek antosiyanin içeriği nedeniyle doğal gıda boyası kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Meyve ekstraktları, kırmızı-mor renk pigmentleri sağlamakta ve gıda endüstrisinde sentetik boyalara alternatif olarak kullanılma potansiyeline sahiptir (Gerardi et al., 2015). Ayrıca, meyveler bazı bölgelerde likör yapımında kullanılmakta ve geleneksel içeceklere renk ve lezzet katmaktadır (Orlando et al., 2021).

Son yıllarda, mahlep tohum yağı, soğuk pres yöntemiyle elde edilmekte ve fonksiyonel gıda uygulamalarında değerlendirilmektedir (Yılmaz et al.). Yağ, yüksek doymamış yağ asidi içeriği ve antioksidan kapasitesi nedeniyle beslenme ve sağlık açısından önem taşımaktadır (Yılmaz et al. ; Güven et al., 2023).

Tıbbi Kullanımlar

Prunus mahaleb, geleneksel tıpta çeşitli rahatsızlıkların tedavisinde kullanılmaktadır. Bitkinin tohumları, yaprakları ve meyveleri, halk hekimliğinde farklı amaçlarla değerlendirilmektedir (Eroğlu, 2023; Ibrahim et al., 2024). Geleneksel kullanımlar, özellikle sindirim sistemi ve solunum yolu rahatsızlıklarına odaklanmaktadır.

Sindirim sistemi rahatsızlıklarında, mahlep tohumları infüzyon veya dekoksiyon şeklinde hazırlanarak, mide ağrısı, hazımsızlık ve karın şişkinliği gibi şikayetlerin giderilmesinde kullanılmaktadır (Eroğlu, 2023). Tohumların karminatif (gaz giderici) ve spazmolitik (kramp çözücü) etkileri, geleneksel uygulamalarda vurgulanmaktadır. Ayrıca, hafif laksatif etkisi nedeniyle kabızlık tedavisinde de tercih edilmektedir.

Solunum yolu enfeksiyonlarında, özellikle öksürük ve bronşit tedavisinde, mahlep tohumlarının infüzyonu kullanılmaktadır (Eroğlu, 2023). Bitkinin ekspektoran (balgam söktürücü) ve antiinflamatuar özellikleri, geleneksel uygulamalarda öne çıkmaktadır. Bazı bölgelerde, soğuk algınlığı ve grip semptomlarının hafifletilmesinde de tercih edilmektedir.

Antiseptik ve dezenfektan amaçlarla, mahlep ekstraktları yara temizliğinde ve cilt enfeksiyonlarının tedavisinde kullanılmaktadır (Eroğlu, 2023). Bitkinin antimikrobiyal özellikleri, geleneksel uygulamaların bilimsel temelini oluşturmaktadır (Oskoueian, 2012; Dashtizadeh, 2023). Ayrıca, bazı bölgelerde diş ağrısı ve diş eti iltihabının tedavisinde de kullanılmaktadır.

Modern bilimsel çalışmalar, *Prunus mahaleb*'in geleneksel tıbbi kullanımlarını destekleyen fitokimyasal ve farmakolojik veriler sunmaktadır. Bitkinin antioksidan, antimikrobiyal, anti-inflamatuar, nöroprotektif ve enzim inhibisyon aktiviteleri, in vitro ve in vivo çalışmalarda gösterilmiştir (Oskoueian, 2012; Dashtizadeh, 2023; Güven et al., 2022; Orlando et al., 2021). Bu aktiviteler, bitkinin fenolik bileşikler, kumarinler, flavonoidler ve antosiyaninler gibi biyoaktif bileşenler içermesiyle ilişkilendirilmektedir (Zan, 2022; Blando et al., 2016; Mostafa et al., 2023; Ieri, 2012).

Kültürel ve Geleneksel Kullanımlar

Prunus mahaleb, Anadolu ve Akdeniz havzasında uzun bir kültürel geçmişe sahiptir. Bitkinin tohumları, yüzyıllardır geleneksel mutfaklarda kullanılmakta ve bu kullanım, kültürel kimliğin bir parçası olarak kuşaklar boyunca aktarılmaktadır (Orlando et al., 2021; Mostafa et al., 2023). Özellikle Türkiye'de, mahlep baharatı, geleneksel bayram ve özel günlerde hazırlanan çörek ve tatlıların vazgeçilmez bir bileşenidir.

Yerel ticaret açısından, mahlep tohumları, kırsal alanlarda yaşayan topluluklar için önemli bir gelir kaynağı oluşturmaktadır. Tohumlar, doğadan toplanmakta veya küçük ölçekli bahçelerde yetiştirilen ağaçlardan elde edilmektedir. Hasat edilen tohumlar, yerel pazarlarda veya baharat tüccarlarına satılmaktadır. Bu ticaret, özellikle İç Anadolu bölgesinde, kırsal ekonomiye katkı sağlamaktadır (Özyurt et al., 2013).

Bazı bölgelerde, *Prunus mahaleb* ağaçları, geleneksel peyzaj düzenlemelerinde ve köy meydanlarında gölge ağacı olarak dikilmektedir. Bitkinin ilkbahar çiçeklenmesi, estetik değer taşımakta ve yerel halk tarafından takdir edilmektedir. Ayrıca, ağacın odunu, bazı bölgelerde küçük el sanatları ve ahşap işçiliğinde kullanılmaktadır.

Diğer Kullanımlar

Prunus mahaleb, meyve ağaçları için anaç (rootstock) olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Özyurt et al., 2013; Hrotkó, 2016). Özellikle kiraz (*Prunus avium*) ve vişne (*Prunus cerasus*) yetiştiriciliğinde, mahlep anacı tercih edilmektedir. Bitkinin kireçli ve kuru topraklara adaptasyonu, kuraklığa dayanıklılığı ve güçlü kök sistemi, anaç olarak kullanımını avantajlı kılmaktadır (Özyurt et al., 2013; Hrotkó, 2016). Mahlep anacı üzerine aşılanan kiraz ve vişne çeşitleri, daha iyi gelişme göstermekte ve stres koşullarına daha dayanıklı olmaktadır.

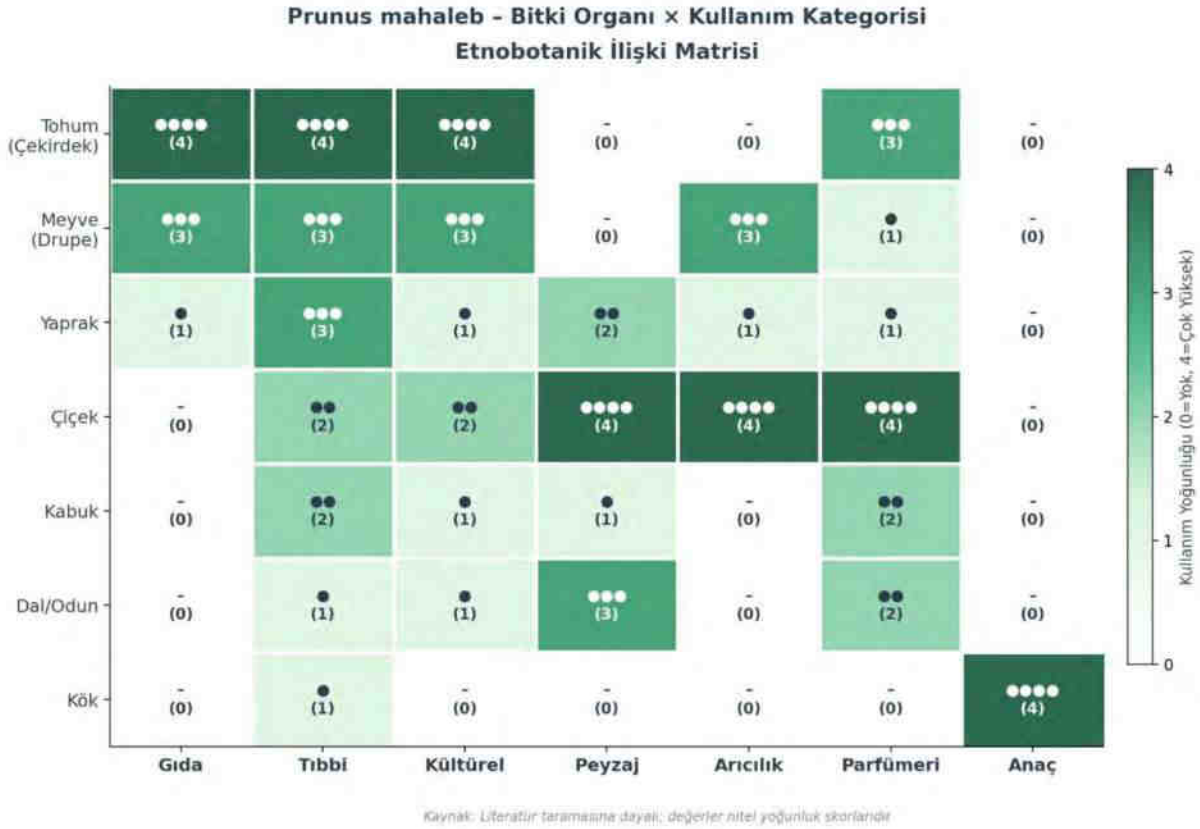
Peyzaj düzenlemelerinde, *Prunus mahaleb* süs bitkisi olarak park, bahçe ve yeşil alanlarda kullanılmaktadır (Erkara et al.). Bitkinin beyaz çiçekleri, hoş kokusu ve kompakt formu, estetik değer taşımaktadır. Ayrıca, kuraklığa ve kireçli topraklara dayanıklılığı, bakım gerektirmeyen bir peyzaj bitkisi olmasını sağlamaktadır.

Arıcılık açısından, *Prunus mahaleb* çiçekleri, erken ilkbahar döneminde arılar için önemli bir nektar ve polen kaynağı oluşturmaktadır. Bitkinin çiçeklenme zamanı, arıların aktif olduğu dönemle örtüşmekte ve bal üretimine katkı sağlamaktadır. Mahlep balı, bazı bölgelerde özel bir ürün olarak değerlendirilmektedir.

FİTOKİMYASAL İÇERİK

Şekil 5. *Prunus mahaleb*'in bitki organları ile etnobotanik kullanım kategorileri arasındaki ilişkiyi gösteren nitel yoğunluk matrisi. Tohum (çekirdek), gıda ve tıbbi kullanımlarda; çiçek ise peyzaj, arıcılık ve parfümeri alanlarında öne çıkmaktadır.

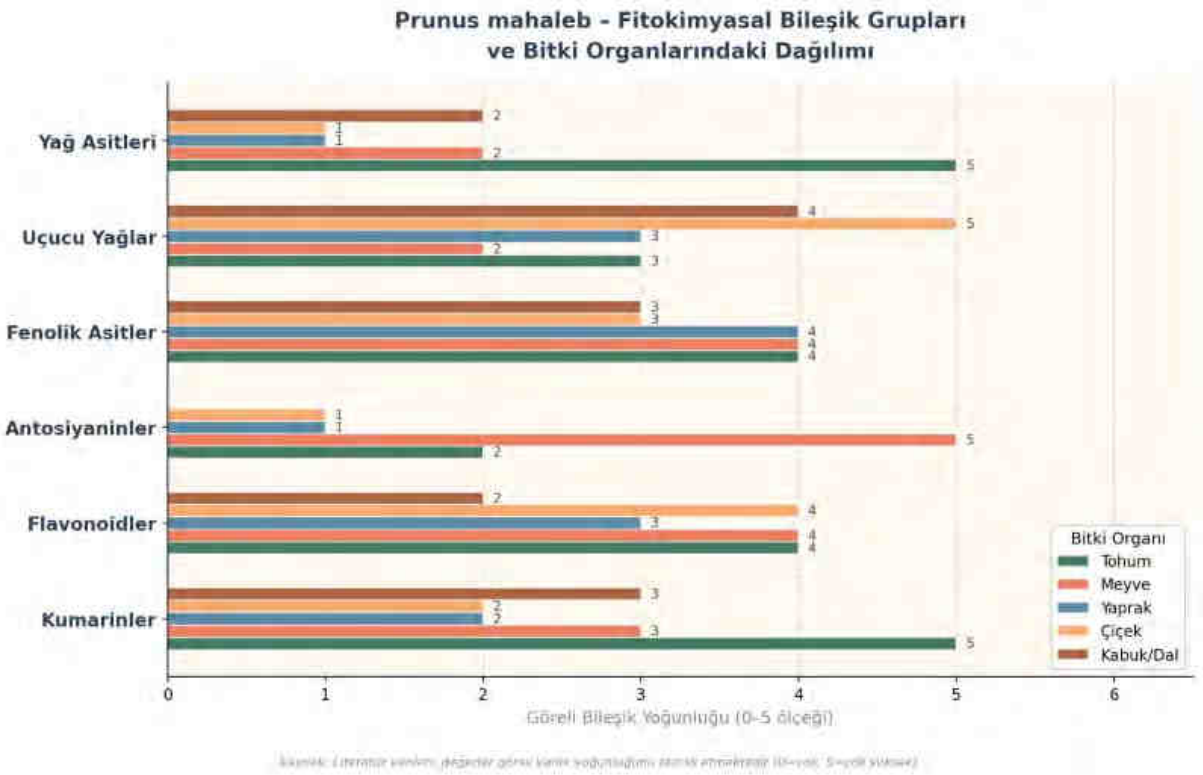
[Image blocked: Şekil 5 – Bitki Organı × Kullanım Kategorisi Matrisi]



Şekil 5. Prunus mahaleb – Bitki organı × kullanım kategorisi etnobotanik ilişki matrisi (Literatür taramasına dayalı nitel yoğunluk skorları).

Şekil 2. *Prunus mahaleb*'in farklı bitki organlarında saptanan başlıca fitokimyasal bileşik gruplarının göreli yoğunluk profili. Kumarinler ve yağ asitleri tohumda, antosiyaninler meyvede, uçucu yağlar ise çiçek ve kabukta yoğunlaşmaktadır.

[Image blocked: Şekil 2 – Fitokimyasal Bileşik Grupları]



Şekil 2. Prunus mahaleb – Fitokimyasal bileşik grupları ve bitki organlarındaki dağılımı (Literatür verileri; değerler göreli

varlık yoğunluğunu temsil etmektedir, 0=yok, 5=çok yüksek).

Kumarinler

Kumarinler, *Prunus mahaleb*'in en karakteristik fitokimyasal bileşenleri arasında yer almaktadır. Özellikle tohumlar ve kabuk dokusunda yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Zan, 2022; Mostafa et al., 2023; Masteli, 2006). Kumarin (1,2benzopyrone) ve türevleri, bitkinin aromatik özelliğinin temel kaynağını oluşturmaktadır (Masteli, 2006).

Yapılan fitokimyasal analizlerde, *Prunus mahaleb* tohumlarında kumarin, dihidrokumarin ve herniarin gibi kumarin türevleri tanımlanmıştır (Mostafa et al., 2023; Masteli, 2006). Mastelić ve arkadaşları (2006), bitkinin kabuk dokusunda uçucu bileşenleri analiz etmiş ve kumarinin kabuk uçucu bileşenlerinin %34.1'ini oluşturduğunu bildirmiştir (Masteli, 2006). Bu yüksek kumarin içeriği, bitkinin karakteristik kokusunun temel nedenidir.

Kumarinler, çeşitli biyolojik aktivitelere sahiptir. Antioksidan, antimikrobiyal, anti-inflamatuar ve antikoagülan etkileri bildirilmiştir (Zan, 2022; Mostafa et al., 2023). Ayrıca, bazı kumarin türevlerinin antikanser ve nöroprotektif özellikleri de rapor edilmiştir. *Prunus mahaleb*'de bulunan kumarinlerin, bitkinin geleneksel tıbbi kullanımlarının bilimsel temelini oluşturduğu düşünülmektedir.

Fenolik Bileşikler ve Flavonoidler

Prunus mahaleb, zengin fenolik bileşik ve flavonoid içeriğine sahiptir (Zan, 2022; Blando et al., 2016; Ieri, 2012; Orlando et al., 2021; Oskoueian, 2012). Fenolik bileşikler, bitkinin antioksidan kapasitesinin ana kaynağını oluşturmaktadır ve çeşitli sağlık yararları ile ilişkilendirilmektedir.

Yapılan HPLC-DAD-MS analizlerinde, *Prunus mahaleb* meyvelerinde gallik asit, kateşin, klorojenik asit, epikateşin, kafeik asit, şikorik asit, kumarik asit, ferulik asit ve rutin gibi fenolik bileşikler tanımlanmıştır. Şikorik asit, özellikle yüksek konsantrasyonda bulunmakta ve kolinesterazlar, α-amilaz, α-glukozidaz ve MAO-B enzimleri üzerinde mikromolar afinitede inhibisyon göstermektedir (Orlando et al., 2021).

Flavonoidler, *Prunus mahaleb*'in önemli bir fitokimyasal grubunu oluşturmaktadır. Quercetin ve kaempferol türevleri, özellikle quercetin-3-O-(2-O,6-O-α-dirhamnopyranosyl β-glucopyranoside) ve kaempferol-3-O-(2-O,6-O-αdirhamnopyranosyl β-glucopyranoside) gibi flavonol triglikozitler izole edilmiştir. Bu bileşikler, güçlü antioksidan ve hücre büyümesi inhibisyon etkileri göstermektedir (Güven et al., 2022).

Toplam fenolik içerik, farklı çalışmalarda 75.7-2266 mg gallik asit eşdeğeri/100 g kuru ağırlık aralığında rapor edilmiştir. Toplam flavonoid içerik ise, 28.5-946.57 mg kateşin eşdeğeri/100 g kuru ağırlık aralığında bildirilmiştir (Oskoueian, 2012; Ozturk, 2014). Bu yüksek fenolik ve flavonoid içeriği, bitkinin güçlü antioksidan kapasitesini açıklamaktadır.

Antosiyaninler

Prunus mahaleb meyveleri, yüksek antosiyanin içeriği ile dikkat çekmektedir (Gerardi et al., 2015; Ieri, 2012; Blando et al., 2016). Antosiyaninler, meyvelerin kırmızı-mor renginden sorumlu olan doğal pigmentlerdir ve güçlü antioksidan özelliklere sahiptir.

Prunus mahaleb meyvelerinde, çekirdeklerinde ve likörlerinde antosiyaninlerin eş zamanlı tayinini gerçekleştirmiş ve siyanidinin glikozitlerinin ana sınıfı oluşturduğu bildirilmiştir (Ieri, 2012). Meyvelerde antosiyanin içeriğinin 5 g/kg taze ağırlığı aşabileceğini ve bu değerin "süper meyveler" olarak bilinen ürünlerle karşılaştırılabilir düzeyde olduğu rapor edilmiştir (Blando et al., 2016).

Gerardi ve arkadaşları (2015), *Prunus mahaleb* meyve ekstraktlarının doğal gıda pigmenti kaynağı olarak potansiyelini araştırmış ve yüksek antosiyanin içeriği nedeniyle gıda endüstrisinde kullanılabileceğini öne sürmüştür. Meyve konsantre ekstraktlarında, antosiyaninlerin yanı sıra flavonoller, flavanoller, kumarin, şekerler, askorbik asit ve organik asitler de tanımlanmıştır (Gerardi et al., 2015).

Toplam antosiyanin içeriği, farklı çalışmalarda 505.7 mg/100 g taze ağırlık düzeyinde rapor edilmiştir (Ozturk, 2014). Bu yüksek antosiyanin içeriği, meyvelerin güçlü antioksidan kapasitesini ve potansiyel sağlık yararlarını desteklemektedir. Antosiyaninler, antiproliferatif, anti-inflamatuar ve antimutajenik aktiviteler göstermektedir (Eroğlu, 2023).

Uçucu Yağlar ve Yağ Asitleri

Prunus mahaleb'in farklı dokularında (çiçek, yaprak, kabuk, odun, tohum) çeşitli uçucu bileşenler ve yağ asitleri tanımlanmıştır (Masteli, 2006; Alshehri, 2014; Eliuz et al., 2021). Mastelić ve arkadaşları (2006), bitkinin çiçek, yaprak, kabuk ve odun dokularında uçucu bileşenleri analiz etmiştir (Masteli, 2006). Çiçeklerde, n-alkanlar (heneicosane %22.1, octacosane %13.0) ana bileşenleri oluşturmaktadır. Odunda, heksadekanoik asit (%46.0) ve eicosane (%12.9) baskın bileşenlerdir. Yapraklarda, heksadekanoik asit (%17.8) ve fitol (%5.1) önemli bileşenlerdir. Dodekanoik, tetradekanoik ve

linoleik asitler, tüm örneklerde bulunmaktadır (Masteli, 2006).Tohum yağı, yüksek doymamış yağ asidi içeriği ile dikkat çekmektedir (Güven et al., 2023; Alshehri, 2014; Eliuz et al., 2021). Alshehri (2014), *Prunus mahaleb* tohumlarında yağ asidi kompozisyonunu GC ve GC-MS ile analiz etmiş ve oleik asit (%34.5), linoleik asit (%31.0) ve α-eleostearik asit (%24.0) gibi ana yağ asitlerini tanımlamıştır (Alshehri, 2014). Yüksek doymamış yağ asidi içeriği, kardiyovasküler sağlık ve metabolik fonksiyonlar açısından olumlu etkiler sağlamaktadır (Yılmaz et al. ; Güven et al., 2023).

Biyolojik Aktiviteler

Prunus mahaleb'in fitokimyasal bileşenleri, çeşitli biyolojik aktiviteler sergilemektedir. Bu aktiviteler, bitkinin geleneksel kullanımlarının bilimsel temelini oluşturmakta ve yeni uygulama alanları için potansiyel sunmaktadır.

Antioksidan Aktivite: *Prunus mahaleb* ekstraktları, güçlü antioksidan aktivite göstermektedir (Zan, 2022; Blando et al., 2016; Oskoueian, 2012; Dashtizadeh, 2023; Güven et al., 2022; Orlando et al., 2021). DPPH, ABTS, ORAC, TEAC ve CUPRAC gibi farklı antioksidan testlerinde, yüksek radikal süpürme kapasitesi ve indirgeme gücü rapor edilmiştir. Meyvelerin antioksidan kapasitesinin ORAC yöntemiyle 150 mmol Trolox eşdeğeri/kg taze ağırlık ve TEAC yöntemiyle 45 mmol Trolox eşdeğeri/kg taze ağırlık düzeyinde olduğu ve bu değerlerin ticari nutrasötik ürünlerle karşılaştırılabilir olduğu bildirilmiştir (Blando et al., 2016). Antioksidan aktivite, fenolik bileşikler, flavonoidler ve antosiyaninlerin serbest radikal süpürme ve metal şelatlama yetenekleri ile ilişkilendirilmektedir (Oskoueian, 2012). *Prunus mahaleb* ekstraktları, çeşitli bakteriyel ve fungal patojenlere karşı antimikrobiyal aktivite göstermektedir (Oskoueian, 2012; Dashtizadeh, 2023; Alshehri, 2014; Eliuz et al., 2021). Orlando ve arkadaşları (2021), meyve ekstraktının *Escherichia coli*'ye karşı antibakteriyel aktivite sergilediğini bildirmiştir. Yaprak ekstraktının çoklu ilaç dirençli *E. coli* suşlarına karşı iyi inhibisyon etkisi ve antibiyofilm aktivite gösterdiği rapor edilmiştir (Dashtizadeh, 2023). Tohum yağının *Candida albicans* ve *C. parapsilosis*'e karşı antifungal aktivite sergilediğini ve bu aktivitenin DNA ve protein sızıntısı ile hücre yüzeyi tahribatı ile ilişkili olduğunu bildirilmiştir (Eliuz et al., 2021).

Anti-inflamatuar Aktivite: *Prunus mahaleb* ekstraktları, anti-inflamatuar etkiler göstermektedir (Oskoueian, 2012; Eroğlu, 2023; Orlando et al., 2021). Orlando ve arkadaşları (2021), meyve ekstraktının COX-2, TNFα, HIF1α ve VEGFA'yı inhibe ederek anti-inflamatuar etki sergilediğini bildirmiştir. Bu aktivite, bitkinin geleneksel olarak inflamatuar rahatsızlıkların tedavisinde kullanımını desteklemektedir.

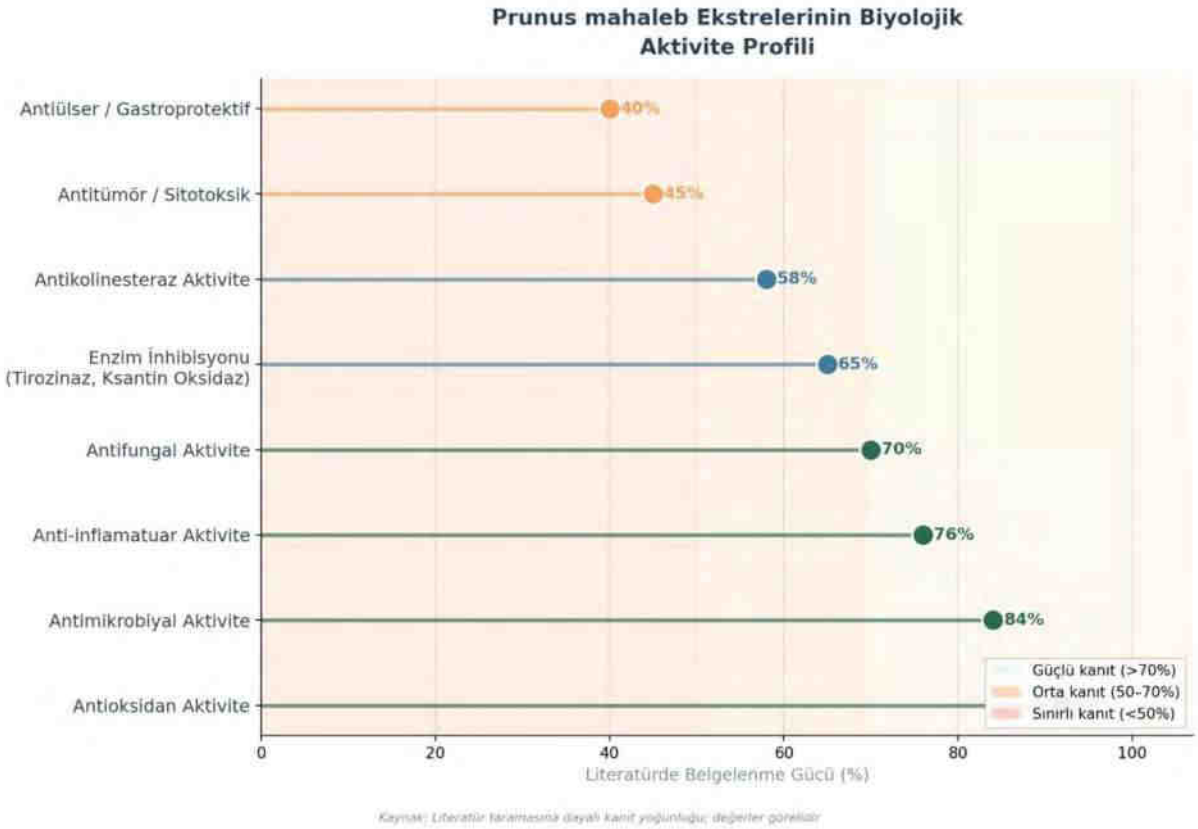
Enzim İnhibisyon Aktiviteleri: *Prunus mahaleb* ekstraktları, çeşitli enzimlere karşı inhibisyon aktivitesi göstermektedir. Tirozinaz inhibisyonu, melanin sentezinin kontrolünde önemli olup, kozmetik ve dermatolojik uygulamalar için potansiyel taşımaktadır (Oskoueian, 2012; Güven et al., 2022). Güven ve arkadaşları (2022), gallik asit (IC50: 10.5 µM) ve ursolic asitin (IC50: 170.2 µM) güçlü tirozinaz inhibisyonu sergilediğini bildirmiştir. Kolinesteraz inhibisyonu, Alzheimer hastalığı tedavisinde önemli olup, şikorik asitin AChE ve BChE üzerinde mikromolar afinitede inhibisyon gösterdiği rapor edilmiştir (Orlando et al., 2021).

Güven ve arkadaşları (2022), çekirdek ekstraktlarının melanoma hücrelerinin büyümesini doza bağımlı olarak inhibe ettiğini rapor etmiştir. Bu aktiviteler, bitkinin potansiyel terapötik uygulamaları için yeni araştırma alanları sunmaktadır.

TARTIŞMA

Şekil 3. *Prunus mahaleb* ekstrelerinin çeşitli biyolojik aktivite alanlarında literatürde belgelenme gücü. Antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteler en güçlü kanıt tabanına sahipken, antitümör ve gastroprotektif etkiler daha sınırlı düzeyde incelenmiştir.

[Image blocked: Şekil 3 – Biyolojik Aktivite Profili]



Şekil 3. Prunus mahaleb ekstrelerinin biyolojik aktivite profili (Literatür taramasına dayalı kanıt yoğunluğu; değerler görelidir).

Prunus mahaleb L., Akdeniz havzası ve Anadolu'da uzun bir etnobotanik geçmişe sahip, çok yönlü kullanım potansiyeline sahip bir bitki türüdür. Bu derleme çalışması, türün geleneksel kullanımları ile modern bilimsel verileri karşılaştırarak, bitkinin potansiyelini ve koruma gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Geleneksel Kullanım ve Bilimsel Veriler: Geleneksel olarak, *Prunus mahaleb* tohumları baharat olarak, sindirim ve solunum sistemi rahatsızlıklarında tıbbi amaçlarla kullanılmaktadır. Modern fitokimyasal ve farmakolojik çalışmalar, bu geleneksel kullanımların bilimsel temellerini ortaya koymaktadır. Bitkinin yüksek fenolik, flavonoid, kumarin ve antosiyanin içeriği, güçlü antioksidan, antimikrobiyal ve anti-inflamatuar aktiviteler ile ilişkilendirilmektedir (Zan, 2022; Blando et al., 2016; Mostafa et al., 2023; Ieri, 2012; Orlando et al., 2021; Oskoueian, 2012; Eroğlu, 2023; Dashtizadeh, 2023; Güven et al., 2022)

Özellikle, şikorik asitin kolinesteraz inhibisyonu (Orlando et al., 2021), gallik asit ve ursolic asitin tirozinaz inhibisyonu (Güven et al., 2022), ve tohum yağının antifungal aktivitesi (Eliuz et al., 2021), geleneksel tıbbi kullanımları destekleyen somut veriler sunmaktadır. Ancak, geleneksel kullanımların çoğu, deneysel ve klinik çalışmalarla yeterince doğrulanmamıştır. Özellikle, in vivo çalışmalar ve klinik denemeler sınırlıdır. Bu nedenle, *Prunus mahaleb*'in terapötik potansiyelinin tam olarak anlaşılması için, daha fazla farmakolojik ve toksikolojik araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır. Tohumların in vitro sitotoksisite testlerinde güvenli olduğunu ve toksik etkinin doza bağımlı olduğu bildirilmiştir (Alshehri, 2014), ancak uzun süreli kullanım güvenliği ve yan etkileri hakkında yeterli veri bulunmamaktadır.

Türkiye ve Dünya Literatürü Karşılaştırması: Türkiye, *Prunus mahaleb* için önemli bir gen merkezi ve doğal yayılış alanıdır. Türkiye literatüründe, bitkinin morfolojik özellikleri, coğrafi dağılımı ve genetik çeşitliliği üzerine çalışmalar bulunmaktadır (Dönmez, 2000; Özyurt et al., 2013). Ancak, etnobotanik kullanımlar ve fitokimyasal içerik üzerine yapılan çalışmalar, dünya literatürüne kıyasla daha sınırlıdır. Özellikle, İtalya, İran ve diğer Akdeniz ülkelerinde, *Prunus mahaleb*'in fitokimyasal kompozisyonu ve biyolojik aktiviteleri üzerine kapsamlı araştırmalar yürütülmüştür (Gerardi et al., 2015; Ieri, 2012; Orlando et al., 2021; Blando et al., 2016).

Türkiye'de, mahlep baharatının geleneksel kullanımı yaygın olmasına rağmen, bu kullanımın bilimsel temelleri ve potansiyel sağlık yararları üzerine sistematik araştırmalar yetersizdir. Ayrıca, bitkinin doğal populasyonlarının genetik çeşitliliği, koruma durumu ve sürdürülebilir hasat stratejileri üzerine çalışmalar sınırlıdır. Bu durum, Türkiye'nin *Prunus mahaleb* araştırmalarında önemli bir potansiyele sahip olduğunu, ancak bu potansiyelin yeterince değerlendirilmediğini göstermektedir.

Bilgi Kaybı ve Sürdürülebilirlik: Geleneksel etnobotanik bilgi, özellikle kırsal alanlarda yaşayan yaşlı nesiller arasında hala canlı olmasına rağmen, genç kuşaklara aktarımında ciddi kesintiler yaşanmaktadır. Modernleşme, kentleşme ve kültürel değişimler, yerel bitki kullanımlarına ilişkin bilginin erozyonuna yol açmaktadır. *Prunus mahaleb* gibi geleneksel olarak kullanılan bitki türlerinin etnobotanik bilgisinin belgelenmesi ve korunması, acil bir ihtiyaçtır.

Sürdürülebilirlik açısından, *Prunus mahaleb*'in doğal popülasyonları, habitat kaybı, aşırı hasat ve iklim değişikliği gibi tehditlere maruz kalmaktadır. Özellikle, mahlep tohumlarının ticari değeri, doğal populasyonlar üzerinde baskı oluşturmaktadır. Sürdürülebilir hasat stratejilerinin geliştirilmesi, kültüre alma çalışmalarının desteklenmesi ve doğal habitatların korunması, türün uzun vadeli varlığı için kritik öneme sahiptir.

Potansiyel Uygulama Alanları: *Prunus mahaleb*, gıda, ilaç ve kozmetik endüstrisi için önemli bir potansiyel taşımaktadır. Yüksek antosiyanin içeriği, doğal gıda boyası uygulamaları için değerli bir kaynak sunmaktadır (Gerardi et al., 2015). Güçlü antioksidan kapasitesi, fonksiyonel gıda ve nutrasötik ürün geliştirme için fırsatlar yaratmaktadır (Yılmaz et al.; Blando et al., 2016). Antimikrobiyal ve anti-inflamatuar aktiviteler, dermatolojik ve kozmetik ürünlerde kullanım potansiyeli taşımaktadır (Güven et al., 2022; Dashtizadeh, 2023). Enzim inhibisyon aktiviteleri, özellikle tirozinaz ve kolinesteraz inhibisyonu, terapötik uygulamalar için umut vericidir (Orlando et al., 2021).

Ancak, bu potansiyelin gerçekleştirilmesi için, daha fazla araştırma, ürün geliştirme ve ticari değerlendirme çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca, sürdürülebilir üretim ve hasat stratejilerinin geliştirilmesi, türün doğal populasyonlarının korunması ile ticari kullanımın dengelenmesi için gereklidir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Prunus mahaleb L., Akdeniz havzası ve Anadolu'da yaygın olarak yetişen, gıda, tıbbi ve ekolojik açıdan çok yönlü öneme sahip bir bitki türüdür. Bu derleme çalışması, türün etnobotanik kullanımlarını, fitokimyasal içeriğini ve ekolojik rolünü sistematik olarak ortaya koymuştur. Bulgular, bitkinin geleneksel kullanımlarının bilimsel temellere dayandığını ve modern uygulamalar için önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Çok Yönlü Önem: *Prunus mahaleb*, geleneksel mutfaklarda baharat olarak, halk hekimliğinde tıbbi amaçlarla, meyve ağaçları için anaç olarak ve peyzaj düzenlemelerinde süs bitkisi olarak kullanılmaktadır. Bitkinin yüksek fenolik, flavonoid, kumarin ve antosiyanin içeriği, güçlü antioksidan, antimikrobiyal, anti-inflamatuar ve enzim inhibisyon aktiviteleri ile ilişkilendirilmektedir. Ekolojik açıdan, tür erozyon kontrolünde rol oynamakta, fauna ile önemli etkileşimlere sahip olmakta ve bölgesel biyolojik çeşitliliğe katkı sağlamaktadır.

Koruma Önerileri: (Husein, 2024; Jordano et al., 2000).

1. *Prunus mahaleb*'in doğal populasyonlarının genetik çeşitliliği ve koruma durumu üzerine kapsamlı araştırmalar yürütülmelidir.

2. Türün doğal habitatlarının korunması için, özellikle İç Anadolu ve Doğu Akdeniz bölgelerinde, koruma alanları oluşturulmalı ve mevcut koruma alanlarının etkinliği artırılmalıdır.

3. Aşırı hasat ve habitat kaybının önlenmesi için, yerel topluluklar ve paydaşlarla işbirliği içinde sürdürülebilir yönetim planları geliştirilmelidir.

4. Türün ex situ koruma çalışmaları (tohum bankaları, botanik bahçeleri) desteklenmelidir.

Araştırma Önerileri:

1. *Prunus mahaleb*'in etnobotanik kullanımları üzerine, özellikle Türkiye'nin farklı bölgelerinde, kapsamlı saha çalışmaları yürütülmelidir. Geleneksel bilginin belgelenmesi ve korunması acil bir ihtiyaçtır.

2. Bitkinin fitokimyasal kompozisyonu ve biyolojik aktiviteleri üzerine, özellikle in vivo ve klinik çalışmalar gerçekleştirilmelidir. Geleneksel tıbbi kullanımların bilimsel doğrulaması için, farmakolojik ve toksikolojik araştırmalar yürütülmelidir.

3. Türün genetik çeşitliliği, populasyon yapısı ve filocoğrafyası üzerine moleküler çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmalar, koruma stratejilerinin geliştirilmesi için temel oluşturacaktır.

4. *Prunus mahaleb*'in iklim değişikliğine karşı dayanıklılığı ve adaptasyon kapasitesi üzerine araştırmalar yürütülmelidir.

5. Bitkinin doğal gıda boyası, fonksiyonel gıda, nutrasötik ve kozmetik ürün geliştirme potansiyeli üzerine uygulamalı araştırmalar desteklenmelidir.

Sürdürülebilir Kullanım Önerileri:

1. Mahlep tohumlarının sürdürülebilir hasadı için, hasat zamanı, hasat miktarı ve hasat yöntemleri konusunda rehberler geliştirilmelidir.

2. Türün kültüre alma çalışmaları desteklenmeli ve küçük ölçekli üreticiler için teknik destek sağlanmalıdır. Kültüre alınan bitkilerin kullanımı, doğal populasyonlar üzerindeki baskıyı azaltacaktır.

3. Yerel toplulukların, *Prunus mahaleb*'in sürdürülebilir kullanımı ve korunması konusunda bilinçlendirilmesi için eğitim programları düzenlenmelidir.

4. Mahlep ürünlerinin coğrafi işaret tescili ve sertifikasyonu desteklenerek, yerel ekonomilere katkı sağlanmalı ve sürdürülebilir üretim teşvik edilmelidir.

5. Türün anaç olarak kullanımının yaygınlaştırılması, meyve yetiştiriciliğinde kuraklığa dayanıklı ve kireçli topraklara uygun çeşitlerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, *Prunus mahaleb* L., geleneksel bilgi, bilimsel araştırma ve sürdürülebilir kullanım stratejilerinin entegrasyonu ile, gıda güvenliği, sağlık ve biyolojik çeşitliliğin korunması açısından önemli katkılar sunabilecek bir türdür. Bu potansiyelin gerçekleştirilmesi için, multidisipliner araştırmaların desteklenmesi, koruma stratejilerinin geliştirilmesi ve yerel toplulukların aktif katılımının sağlanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Alshehri, O. (2014). *Pharmacognostical investigations on Prunus mahaleb oil and its kernels* [Master's thesis, Hacettepe University]. Hacettepe University Institutional Repository.

Babayeva, S. (2024). Flora Current State of Rosaceae Woody Species in Mountain Xerophytic and Steppe Vegetation of Ordubad District. *Бюллетень науки и практики*, 10(4), 1-10. https://doi.org/10.33619/2414-2948/104/05

Blando, F., Albano, C., Zhang, Y., Nicoletti, I., Corbo, F., Sinicropi, M. S., Liso, M., Pappalardo, I., Calabrone, L., Carluccio, M. A., & Gerardi, C. (2016). Polyphenolic composition and antioxidant activity of the under-utilised *Prunus mahaleb* L. fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 1849-1855. https://doi.org/10.1002/jsfa.7381

Dashtizadeh, Z., Jookar Kashi, F., & Toluei, Z. (2023). *Composition and biological activities of Prunus mahaleb L. (Rosaceae) leaf extract; antibiofilm effect on clinical strains*. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3328206/v1

Dönmez, A. A., & Yıldırımlı, Ş. (2000). *Taxonomy of the genus Prunus L. (Rosaceae) in Turkey*. Turkish Journal of Botany, 24(3), 187–202.

Erdogan Eliuz, E. A., Yabalak, E., Gökşen, G., & Ayas, D. (2022). Chemical composition, antifungal activity, antifungal mechanism and interaction manner of the fatty acid of *Prunus mahaleb* L. with fluconazole. *International Journal of Environmental Health Research*, *32*(10), 2337–2349. https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1963686

Potoğlu Erkara, İ., & Sezer, O. (2020). *Pollen morphology of Prunus mahaleb L. (Mahaleb) (Rosaceae) and its importance in landscaping of parks and gardens*. International Journal of Agricultural and Natural Sciences, 13(3), 151–158.

Eroğlu, N., Emekci, M., & Athanasiadou, S. (2023). *Prunus mahaleb*'in Fermente Çay İçeceklerinde Biyokimyasal ve Mikrobiyolojik Etkilerinin Araştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 1-10. https://doi.org/10.21597/jist.1223639

FLORA. (2024). *Prunus mahaleb* L. *Zenodo*. https://doi.org/10.5281/zenodo.10916085

Gerardi, C., Tommasi, N., Albano, C. *et al*. *Prunus mahaleb* L. fruit extracts: a novel source for natural food pigments. *Eur Food Res Technol* **241**, 683–695 (2015). https://doi.org/10.1007/s00217-015-2495-x

Güven, L., Ergin, C., Şeker, M., Gürsoy, N., Aktaş, L. Y., Usta, K., Gökçe, A., & Gökçe, G. (2022). Food plant with antioxidant, tyrosinase inhibitory and antimelanoma activity: *Prunus mahaleb* L. *Food Bioscience*, 48, 101804. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101804

Hrotkó, K. (2016). Potentials in *Prunus mahaleb* L. for cherry rootstock breeding. *Scientia Horticulturae*, 210, 250-259. https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2016.04.015

Husein, A., Battah, F., & Roukoz, E. (2024). *Eco-geographic study of Mahaleb (Prunus mahaleb L.) in the middle and northern parts of the Eastern Mediterranean*. Zenodo.

Hübner, W., & Wissemann, V. (2004). Morphometrische Analysen zur Variabilität von *Prunus spinosa* L. Populationen(Prunoideae, Rosaceae) im mittleren Saaletal, Thüringen. *Feddes Repertorium*, 115(7-8), 475-503. https://doi.org/10.3264/FG.2004.1215

Ibrahim, N. A., Mhaidat, N. M., Alzoubi, K. H., & Abaza, I. F. (2024). Bioactivities of *Prunus mahaleb*: A Mini Review. *Plant Science Today*, 11(2), 1-8. https://doi.org/10.14719/pst.2492

Ieri, F., Innocenti, M., Possieri, L., Gallori, S., & Mulinacci, N. (2012). Simultaneous determination of anthocyanins, coumarins and phenolic acids in fruits, kernels and liqueur of *Prunus mahaleb* L. *Food Chemistry*, 135(3), 2157-2162. https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2012.07.083

Jordano, P., & Godoy, J. A. (2000). RAPD variation and population genetic structure in *Prunus mahaleb* (Rosaceae), an animal-dispersed tree. *Molecular Ecology*, 9(9), 1293-1305. https://doi.org/10.1046/J.1365-294X.2000.01009.X

Mastelić, J., Politeo, O., Jerković, I., & Radošević, N. (2006). Volatile constituents from flowers, leaves, bark and wood of *Prunus mahaleb* L. *Flavour and Fragrance Journal*, 21(2), 306-313. https://doi.org/10.1002/FFJ.1596

Mostafa, H., Elhady, S. S., Abdelhameed, M. F., Darwish, K. M., Elhady, M. T., Hassanean, H. A., & Elhady, S. S. (2023). Profiling of primary and phytonutrients in edible mahlab cherry (*Prunus mahaleb* L.) seeds in the context of its different cultivars and roasting as analyzed using molecular networking and chemometric tools. *PeerJ*, 11, e15908.

https://doi.org/10.7717/peerj.15908

Orlando, G., Ferrante, C., Zengin, G., Sinan, K. I., Bene, K., Diuzheva, A., Jekő, J., Cziáky, Z., Simone, M. D., Recinella, L., Chiavaroli, A., Leone, S., Brunetti, L., Picot-Allain, M. C. N., Rengasamy, K. R. R., Mahomoodally, M. F., Menghini, L., & Ak, G. (2021). Unravelling the Phytochemical Composition and the Pharmacological Properties of an Optimized Extract from the Fruit from *Prunus mahaleb* L.: From Traditional Liqueur Market to the Pharmacy Shelf. *Molecules*, 26(15), 4422. https://doi.org/10.3390/MOLECULES26154422

Oskoueian, A., Haghighi, R. S., Ebrahimi, M., & Oskoueian, E. (2012). *Bioactive compounds, antioxidant, tyrosinase inhibition, xanthine oxidase inhibition, anticholinesterase and anti-inflammatory activities of Prunus mahaleb L. seed*. *Journal of Medicinal Plants Research, 6*(2), 225–233. https://doi.org/10.5897/JMPR11.1164

Ozturk, A., Demirsoy, L., Demirsoy, H., Asan, A., & Gül, O. (2014). Aroma, Sugar and Anthocyanin Profile of Fruit and Seed of Mahlab (*Prunus mahaleb* L.): Optimization of Bioactive Compounds Extraction by Simplex Lattice Mixture Design. *Food Analytical Methods*, 8, 1-11. https://doi.org/10.1007/S12161-013-9679-4

Yılmaz, E., & Karataş, B. (2023). *Evaluation of the sensory properties, volatile aroma compounds and functional food potentials of cold-press produced mahaleb (Prunus mahaleb L.) seed oil*. *OCL – Oilseeds and Fats, Crops and Lipids, 30*, 19. https://doi.org/10.1051/ocl/2023018

Zan, T., Zhang, X., Li, X., Su, M., Jiang, Y., Ren, W., & Zhang, X. (2022). Composition analysis of rootstock cherry (*Prunus mahaleb* L.), a potential source of human nutrition and dietary supplements. *European Food Research and Technology*, 248, 1-12. https://doi.org/10.1007/s00217-022-03965-5

Özyurt, K. M., Erdoğan, V., & Çekiç, Ç. (2013). Molecular characterization of *Prunus mahaleb* L. rootstock canditates by ISSR markers. *Genetika-Belgrade*, 45(3), 717-726. https://doi.org/10.2298/GENSR1303717O

GAZİANTEP BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ'NE BAĞLI REKREASYON ALANLARININ MEKÂNSAL DAĞILIMI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ

Banu GÖKÇEK[1], Fatih YAYLA[2], Ebru BOZLAR[3]

[1]Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-5097-0078

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-6490-6288

[3] Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9414-2760

ÖZET

Kentleşmenin hız kazandığı günümüzde, açık-yeşil alanlar ve rekreasyon alanları kentsel yaşam kalitesinin belirleyici unsurları arasında değerlendirilmektedir. Bu bağlamda Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı rekreasyon alanlarının mekânsal dağılımı, mevcut durumu ve sürdürülebilirlik boyutları ele alınmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin en kalabalık ili olan Gaziantep, yaklaşık 2,2 milyonu aşan nüfusuyla hem sanayileşme hem de göç baskısı altında hızlı kentsel dönüşüm yaşayan bir metropol konumundadır. Bu süreçte yeşil altyapı yetersizlikleri ve rekreasyon alanlarının coğrafi dağılımındaki eşitsizlikler, kentsel sürdürülebilirlik açısından kritik bir sorun haline gelmiştir.

Çalışmada, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı'nın yönetiminde bulunan parklar, botanik bahçesi, açık spor ve rekreasyon tesisleri ile doğal yaşam alanları kapsamlı biçimde incelenmiştir. Elde edilen veriler; kişi başına düşen yeşil alan miktarının 2014 yılında 8,51 m² düzeyinde iken 2025 yılına gelindiğinde 13,48 m²'ye yükseltildiğini ortaya koymaktadır. Belediyenin stratejik planları çerçevesinde bu oranın 15 m²'ye çıkarılması hedeflenmektedir. Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) Yeşil Şehirler Programı kapsamında değerlendirilen Gaziantep, bölgesel ölçekte sürdürülebilir kentsel gelişimin önemli bir örneği olarak öne çıkmaktadır.

Mekânsal dağılım analizi, rekreasyon alanlarının kent merkezinde yoğunlaştığını ve çevre ilçelerde erişilebilirlik sorunlarının sürdüğünü göstermektedir. Galle Park, Türkiye Yüzyılı Cumhuriyet Parkı ve Alleben deresi boyunca devam eden ekolojik koridor gibi büyük ölçekli projeler, hem niceliksel hem de niteliksel açıdan yeşil alan stokunu önemli ölçüde artırmıştır. Öte yandan karasal iklim koşulları, su kıtlığı ve kentsel ısı adası etkisi, sürdürülebilir peyzaj yönetimini zorlaştıran başlıca çevresel baskı unsurları olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'nin izlediği bütüncül yeşil altyapı politikasının, hem ulusal standartları hem de uluslararası sürdürülebilirlik kriterlerini karşılama yönünde somut adımlar içerdiği değerlendirilmektedir. Gelecek perspektifinde

iklim değişikliğine uyum, biyoçeşitlilik koridorlarının entegrasyonu ve akıllı şehir uygulamalarının rekreasyon planlamasına dahil edilmesi öncelikli gündem maddeleri olarak önerilmektedir. Bu çalışmanın, kentsel yeşil alan politikalarının geliştirilmesine ve rekreasyon alanı planlama süreçlerine katkı sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Rekreasyon alanı, mekânsal dağılım, kentsel yeşil alan, sürdürülebilirlik, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, yeşil altyapı, kentsel peyzaj

Abstract

In today's rapidly urbanizing world, open-green spaces and recreational areas are considered among the key determinants of urban quality of life. In this context, the spatial distribution, current condition, and sustainability dimensions of recreational areas affiliated with the Gaziantep Metropolitan Municipality are examined. As the most populous province in the Southeastern Anatolia Region, Gaziantep, with a population exceeding approximately 2.2 million, has emerged as a metropolitan city undergoing rapid urban transformation under the pressures of both industrialization and migration. Within this process, deficiencies in green infrastructure and inequalities in the geographical distribution of recreational areas have become critical challenges in terms of urban sustainability.

This study comprehensively investigates parks, the botanical garden, open sports and recreational facilities, and natural habitats managed by the Department of Urban Aesthetics and Green Areas of the Gaziantep Metropolitan Municipality. The findings reveal that the amount of green space per capita increased from 8.51 m² in 2014 to 13.48 m² by 2025. Within the framework of the municipality's strategic plans, this ratio is targeted to be increased to 15 m². Evaluated under the European Bank for Reconstruction and Development (EBRD) Green Cities Program, Gaziantep stands out as a significant example of sustainable urban development at the regional scale.

The spatial distribution analysis indicates that recreational areas are concentrated in the city center, while accessibility problems persist in peripheral districts. Large-scale projects such as Galle Park, Türkiye Century Republic Park, and the ecological corridor extending along the Alleben Stream have significantly enhanced the city's green space stock in both quantitative and qualitative terms. On the other hand, continental climatic conditions, water scarcity, and the urban heat island effect have been identified as major environmental pressures complicating sustainable landscape management.

In conclusion, the integrated green infrastructure policy pursued by the Gaziantep Metropolitan Municipality is considered to include concrete steps toward meeting both national standards and international sustainability criteria. From a future-oriented perspective, climate change adaptation, the integration of biodiversity corridors, and the incorporation of smart city applications into recreational planning are recommended as priority agenda items. This study is expected to contribute to the development of urban green space policies and recreational area planning processes.

Keywords: Recreational area, spatial distribution, urban green space, sustainability, Gaziantep Metropolitan Municipality, green infrastructure, urban landscape.

1. GİRİŞ

Kentsel büyüme ve nüfus yoğunlaşması, dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de yeşil alan ve rekreasyon alanlarına duyulan ihtiyacı giderek artırmaktadır. Rekreasyon alanları; bireylerin fiziksel ve ruhsal sağlıklarına katkıda bulunmanın yanı sıra ekolojik denge, biyoçeşitlilik ve kentsel mikro iklim açısından da işlevsel alanlar olarak tanımlanmaktadır (Jim & Chen, 2006). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), kişi başına düşen yeşil alan miktarının asgari 9 m² olmasını önermekte; ancak Avrupa kentlerinde bu standart çoğunlukla 15–20 m² düzeyinde karşılanmaktadır (WHO, 2016).

Türkiye'de yerel yönetimlerin kentsel açık-yeşil alan yönetimi stratejileri değerlendirildiğinde, büyükşehir belediyelerinin bu alanda belirleyici bir role sahip olduğu görülmektedir (Hassamancıoğlu, 2021). 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu çerçevesinde büyükşehir belediyeleri, park ve yeşil alanların planlanması, yapımı ve bakımından birincil düzeyde sorumlu tutulmaktadır. Bu bağlamda Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, özellikle 2014 sonrasında hayata geçirilen kapsamlı yeşil alan projeleri ve ulusal-uluslararası iş birlikleriyle ön plana çıkmaktadır. (Kayan, 2015)

Gaziantep, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin ekonomik ve kültürel merkezi konumundadır. 2025 yılı itibarıyla 2,2 milyonu aşan nüfusuyla Türkiye'nin altıncı büyük ili olan Gaziantep, kalabalık bir kentsel alan oluşturmaktadır. Kentin hızlı sanayileşmesi ve özellikle 2010'lu yıllardan itibaren artan göç baskısı, altyapı gereksinimlerini ağırlaştırırken yeşil alan talebi de önemli ölçüde artırmıştır (TÜİK, 2025; Ulusoy & Turan, 2016).

Bu çalışmada, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı rekreasyon alanlarının mekânsal dağılımı, nitelik ve nicelik özellikleri, gerçekleştirilen çalışmaların etkileri ve gelecek perspektifi kapsamlı biçimde ele alınmaktadır. Çalışma; derleme niteliğinde tasarlanmış olup mevcut literatür ve resmi belediye verileri temel alınmıştır.

2.ÇALIŞMA METODOLOJİSİ

Bu çalışma, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı rekreasyon alanlarının mekânsal dağılımı ve sürdürülebilirlik boyutlarını değerlendirmeye yönelik betimsel nitelikte bir derleme çalışması olarak tasarlanmıştır. Çalışmanın materyalini; Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından yayımlanan stratejik planlar, faaliyet raporları, kurumsal duyurular, park ve yeşil alanlara ilişkin açık erişimli belediye verileri ile Gaziantep'in kentsel yeşil alan politikalarına ilişkin ulusal ve uluslararası raporlar oluşturmuştur. Bu kapsamda belediye yönetiminde yer alan parklar, botanik bahçesi, açık spor ve rekreasyon alanları, ekolojik koridorlar ve doğal yaşam alanlarına ilişkin bilgiler derlenmiş; kişi başına düşen yeşil alan miktarı, rekreasyon alanlarının kent içindeki konumu ve sürdürülebilir peyzaj yönetimi açısından taşıdığı önem değerlendirilmiştir.

Yöntem kapsamında, belediye kaynakları ve akademik literatür doküman analizi yaklaşımıyla incelenmiştir. Tarama sürecinde kentsel yeşil alan, rekreasyon alanı, yeşil altyapı, mekânsal dağılım, sürdürülebilir kentleşme, erişilebilirlik ve Gaziantep anahtar kavramları kullanılmıştır. Elde edilen veriler; rekreasyon alanı türleri, mekânsal yoğunlaşma, erişilebilirlik, kişi başına düşen yeşil alan, ekolojik bağlantısallık, iklim değişikliğine uyum ve sürdürülebilirlik ölçütleri doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Çalışma arazi ölçümü veya anket uygulaması içermediğinden, değerlendirmeler mevcut

kurumsal belgeler ve yayımlanmış akademik çalışmalar üzerinden betimsel ve karşılaştırmalı olarak yapılmıştır.

3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

3.1. Rekreasyon Alanı Kavramı ve Sınıflandırması

Rekreasyon alanları; gündelik yaşamın getirdiği psikolojik ve fiziksel yükü azaltmak amacıyla bireylerin özgür zamanlarını değerlendirdiği, dinlenme, eğlenme, spor ve sosyalleşme işlevlerini bünyesinde barındıran mekânlar olarak tanımlanmaktadır (Ayık, 2025). Kentsel rekreasyon alanları, işlevleri bakımından aşağıdaki biçimde sınıflandırılmaktadır:

Sınıf	Tanım	Örnekler
Mahalle parkları	Küçük ölçekli, yoğun konut alanlarına hizmet eden alanlar	Çocuk Parkları, Küçük Yeşil Bantlar
Kent parkları	Geniş kitlelere hitap eden çok işlevli alanlar	Büyük Şehir Parkları
Bölgesel parklar	Geniş doğal alanlar, rekreatif ormanlar	Alleben Vadisi, Galle Park
Özel rekreasyon tesisleri	Botanik bahçeleri, spor kompleksleri, tematik alanlar	Botanik Bahçe, Spor Tesisleri
Koridor ve lineer alanlar	Dere kenarı, yürüyüş ve bisiklet yolları	Ekolojik Koridor

Tablo 1 Rekreasyon Alanı Kavramı ve Sınıflandırması (Gül ve ark., 2020)

Türk mevzuatında açık-yeşil alan planlamasına ilişkin temel düzenlemeler; 3194 sayılı İmar Kanunu, Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği ile çerçevelenmektedir. Bu düzenlemelere göre nüfus başına düşen aktif yeşil alan miktarı en az 10 m² olarak belirlenmektedir. (Resmi Gazete, 2014)

3.2. Sürdürülebilir Kentsel Peyzaj

Sürdürülebilir kentsel peyzaj kavramı; ekolojik işlevlerin korunması, su ve enerji kaynaklarının etkin kullanımı, biyoçeşitlilik desteği ve uzun vadeli bakım ekonomisinin gözetilmesini içermektedir (Forman, 2014). Yeşil altyapı (green infrastructure) yaklaşımı; kentsel ormanlar, yeşil çatılar, biyolojik koridorlar ve su yönetimi sistemlerini birleştiren bütünleşik bir planlama anlayışı olarak giderek yaygınlaşmaktadır (Mell, 2016).

EBRD'nin Yeşil Şehirler Programı, kentlerdeki çevresel baskıları azaltmak ve sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek amacıyla Avrupa, Orta Asya ve Orta Doğu'daki şehirlerle ortaklıklar kurduğu bir çerçeve programdır. Gaziantep bu programa dahil edilerek yeşil şehir eylem planı (GCAP) hazırlamıştır (EBRD, 2023).

4. GAZİANTEP'İN KENTSEL YAPISI VE YEŞİL ALAN TARİHSEL GELİŞİMİ

4.1. Kentin Demografik ve Coğrafi Özellikleri

Gaziantep; 36° 28' ve 38° 01' doğu boylamları ile 36° 38' ve 37° 32' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır, Güneydoğu Anadolu Platosu üzerinde yer almaktadır. Karasal iklim özelliklerini yansıtan kent, yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 600 mm olan yarı kurak bir iklim kuşağında konumlanmaktadır. Bu iklim koşulları, yeşil alanların

kurulması ve bakımını ciddi ölçüde güçleştirmektedir. (Metoroloji Genel Müdürlüğü, 2026; T.C. Gaziantep Valiliği 2024)

4.2. Yeşil Alan Gelişiminin Tarihsel Arka Planı

2014 öncesi dönemde Gaziantep'te kişi başına düşen yeşil alan miktarının yalnızca 8,51 m² düzeyinde kaldığı bilinmektedir (Anadolu Ajansı, 2024). Bu durum hem WHO standartlarının hem de ulusal mevzuatın gerisinde kalmakta ve ciddi bir yeşil alan açığına işaret etmektedir. Yoğun sanayileşme, hızla artan kentsel yapılaşma ve göç baskısı, mevcut yeşil alanlara yönelik talepte belirgin bir artışa neden olmuştur.

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2014 yılında imar, ulaşım ve iklim master planlarını eş zamanlı olarak hazırlayarak bütüncül bir planlama sürecine girmiştir (Anadolu Ajansı, 2024). Bu süreçte yeşil alan oranı; kentin sürdürülebilirlik gündeminin merkezine alınmıştır. Söz konusu stratejik tercih, 2021 yılında EBRD Yeşil Şehirler Programı'na katılımla uluslararası bir boyut kazanmıştır (EBRD, 2023)

5. GAZİANTEP BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ REKREASYON ALANLARININ MEVCUT DURUMU

5.1. İdari Yapılanma

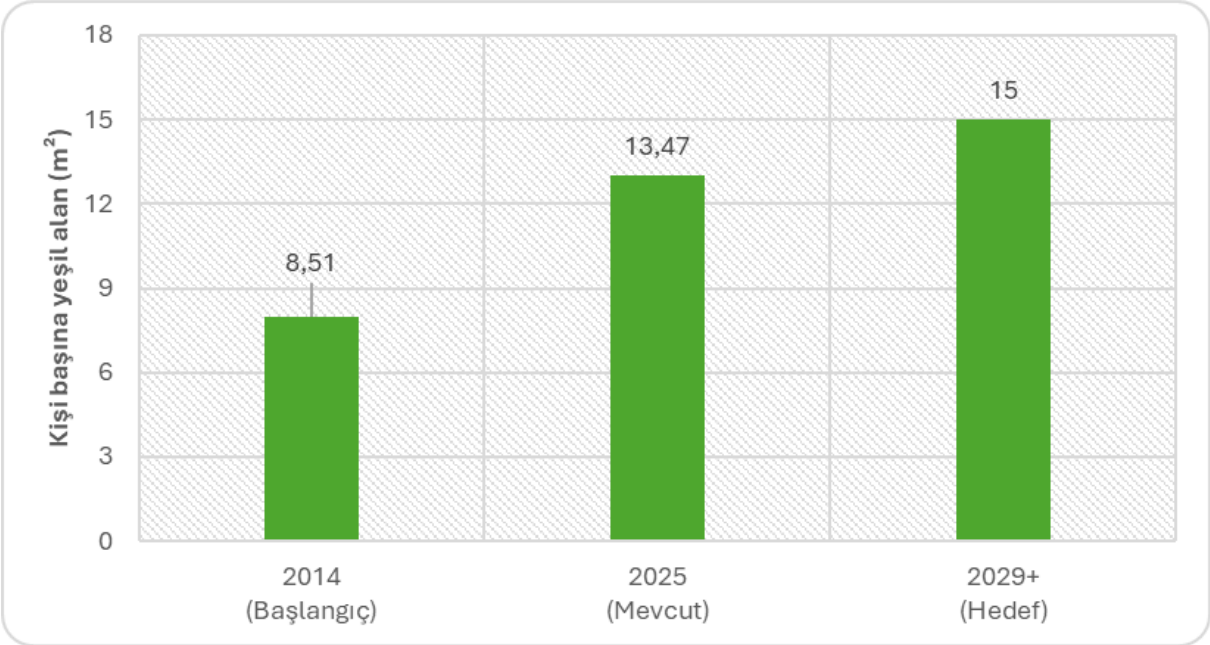
Gaziantep Büyükşehir Belediyesi bünyesinde Kent Estetiği Daire Başkanlığı altında bulunan şube müdürlükleri ile, yeşil alan yönetiminin birincil sorumlu birimleri olarak görev yapmaktadır. Bu kurumsal ayrışma, bakım, estetik ve planlama işlevlerinin daha etkin yürütülmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir (Anadolu Ajansı, 2024; Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2026).

Şekil 1 İdari Yapılanma

5.2. Kişi Başına Düşen Yeşil Alan Verileri

Kişi başına düşen yeşil alan miktarı; kentsel sürdürülebilirlik açısından en temel ölçülebilir göstergelerden biri olarak kabul edilmektedir. Aşağıdaki tablo, Gaziantep'teki söz konusu değişimi yıllar itibarıyla özetlemektedir:2014–2025 döneminde kişi başına

düşen yeşil alan miktarında yaklaşık %58'lik bir artış kaydedilmiştir. Bu artış; yalnızca yeni park ve yeşil alan tesisi değil, mevcut alanların restorasyonu ve sulama altyapısının iyileştirilmesi yoluyla da gerçekleştirilmiştir (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2023).



Şekil 2 Gaziantep'te Kişi Başına Düşen Yeşil Alan Değişimi

5.3. Başlıca Rekreasyon Alanları

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'nin yönetiminde bulunan başlıca rekreasyon alanları şöyle sıralanabilir:

Şekil 3 Galle Park (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2025)

5.3.1. Galle Park

Galle Park, Gaziantep kentinin Şahinbey ilçesinde yer alan ve yaklaşık 270.000 m² büyüklüğe sahip önemli bir kentsel yeşil alan olarak öne çıkmaktadır. Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından hayata geçirilen park, yaklaşık 190 bin m²'lik yeşil alan varlığıyla kentin en büyük kentsel parklarından biri niteliğindedir. Park bünyesinde 40 bin m² macera alanı ile 21 bin m² kültür bahçesi bulunmakta olup, farklı kullanıcı gruplarına yönelik çeşitli rekreasyonel ve sosyal işlevler sunmaktadır.

Özellikle 40.000 m² büyüklüğündeki Macera Adası; zipline, hava bisikleti, okçuluk sahası ve survivor parkuru gibi aktif rekreasyon unsurlarını içermesiyle dikkat

çekmektedir. Bunun yanında 1.800 metre uzunluğundaki yürüyüş ve bisiklet yolları, açık hava fitness alanları ve amfitiyatro gibi donatılar, çok yaşlı ve farklı kullanıcı profillerine hitap eden kapsayıcı kullanım olanakları sağlamaktadır. Park, Türkiye'nin ilk "Biyodost Açık Yeşil Alanı" unvanına sahip tematik bahçeleri, spor alanları ve kültürel mekânlarıyla yalnızca rekreasyonel değil, aynı zamanda ekolojik ve eğitsel işlevler de üstlenmektedir. Sürdürülebilir peyzaj yönetimi anlayışı doğrultusunda tasarlanan Galle Park, 2025 yılında Uluslararası Yeşil Bayrak Ödülü'ne layık görülerek bölgesel ölçekte örnek gösterilen bir yeşil altyapı uygulaması niteliği kazanmıştır (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2025; Plant Dergisi, 2024; Çevik & Yılmaz, 2025).

Galle Park'ta yer alan tematik bahçeler aşağıda özetlenmektedir:

GALLE PARK TEMATİK BAHÇELERİ

Bahçe Adı	**Teması / Öne Çıkan Unsurlar**
Osmanlı (Cennet) Bahçesi	Şadırvan, sütunlu geçişler, Türk-İslam bahçe mimarisi
Japon & Zen Bahçesi	Ahşap köprüler, koi havuzu, nilüfer göletleri
Çin Bahçesi	Uzak Doğu mimarisi, simgesel bitkiler
Hollanda Bahçesi	Lale tarlaları, yel değirmenleri
Gotik Bahçe	Orta Çağ atmosferi, dramatik bitkisel düzenleme
Barok / Rönesans Bahçesi	Geometrik çim, şekilli çalılar, simetrik peyzaj

Tablo 3. Galle Park Tematik Bahçeleri (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2025)

5.3.2. Türkiye Yüzyılı Cumhuriyet Parkı

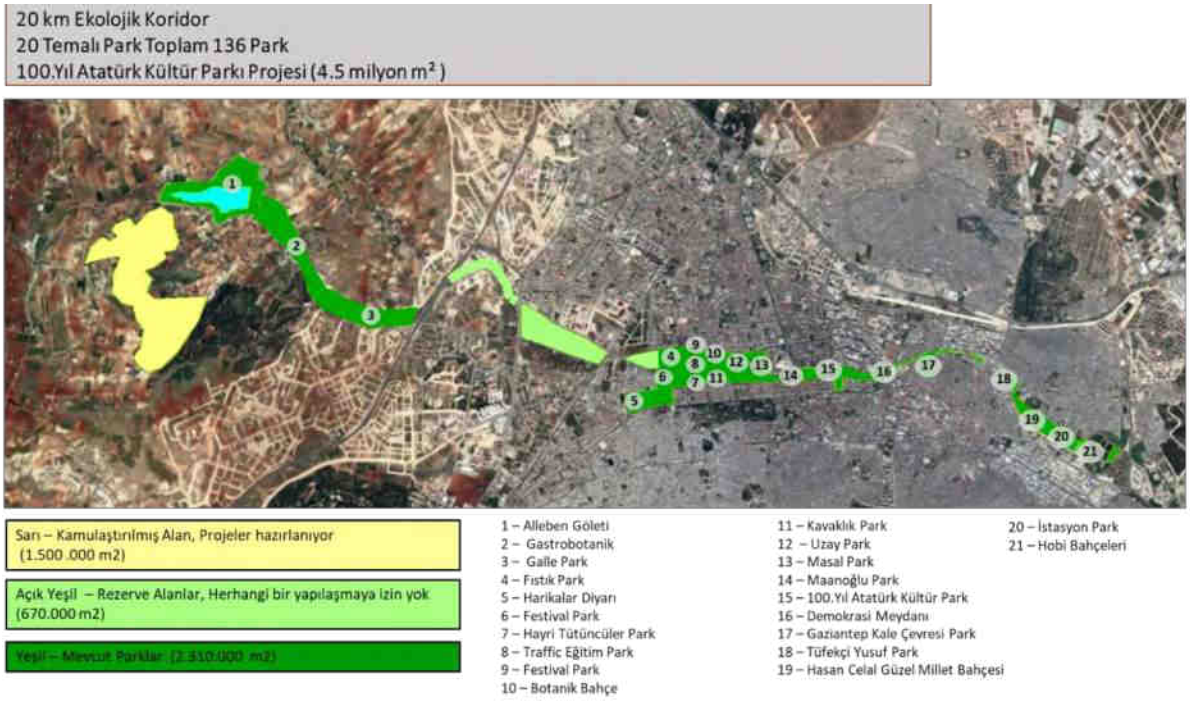
Şekil 4 Türkiye Yüzyılı Cumhuriyet Parkı (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi,2025)

Cumhuriyet'in 100. yılı onuruna açılan bu park yaklaşık 52.000 m² büyüklüğünde bir alan üzerine kurulmuştur ve kent sakinlerinin rekreasyonel gereksinimlerini karşılamaya yönelik çok işlevli bir açık yeşil alan olarak planlanmıştır. Park bünyesinde yer alan sosyal ve rekreasyonel donatılar, farklı yaş ve kullanıcı gruplarının ihtiyaçlarına cevap verecek biçimde çeşitlendirilmiştir. Bu kapsamda, kentin tarihî ve kültürel kimliğini yansıtmayı amaçlayan İstasyon

Gaziantep sosyal kullanım alanı, erken çocukluk döneminde okuma alışkanlığını desteklemek amacıyla oluşturulan Bebek Kütüphanesi, sportif faaliyetleri teşvik eden basketbol sahaları ile yürüyüş ve bisiklet yolları öne çıkan mekânsal bileşenler arasında yer almaktadır. Ayrıca çocuk oyun alanları ve otopark hizmetleri, parkın erişilebilirliğini ve kullanıcı konforunu artıran tamamlayıcı unsurlar olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte park; spor, eğitim ve kültürel etkinliklere erişim imkânı sunması, farklı yaş gruplarına yönelik sosyal donatı alanlarını içermesi ve güvenli kamusal kullanım olanakları sağlaması bakımından kent yaşam kalitesinin artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda Türkiye Yüzyılı Cumhuriyet Parkı, Gaziantep'in daha yaşanabilir, sürdürülebilir ve çağdaş bir kent yapısına dönüşüm sürecinde önemli bir yeşil altyapı bileşeni olarak öne çıkmaktadır (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2025).

5.3.3. Ekololojik Koridor

Gaziantep'te kent merkezinden geçen Alleben Deresi, bütüncül bir yeşil koridor sisteminin oluşturulmasında önemli bir unsur olarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda geliştirilen uygulama, farklı tematik parklar ile doğal alanın birbirine bağlandığı kesintisiz bir yeşil ağın meydana gelmesini sağlamıştır. Yaklaşık 20 km uzunluğundaki ekolojik koridor, en kapsamlı lineer yeşil alan projesini oluşturmaktadır. Koridor boyunca yapım aşamasındaki 200.000 m²'lik alanda gastrobotanik alanı da koridor sürekliliğini devam ettirecek niteliktedir. Proje; kişi başına düşen yeşil alan miktarını yükseltmenin yanı sıra rekreasyonel ve sosyo-kültürel kullanım olanaklarını artırmayı, kent içi hava dolaşımını iyileştirmeyi ve kentsel ısı adası etkisini azaltmayı hedefleyen çok boyutlu bir yaklaşım ve kentsel ekoloji ile rekreasyonu bütünleştiren yenilikçi bir planlamanın ürünü olarak şekillendirilmiştir (Altuntaş, 2025; Anadolu Ajansı, 2024).

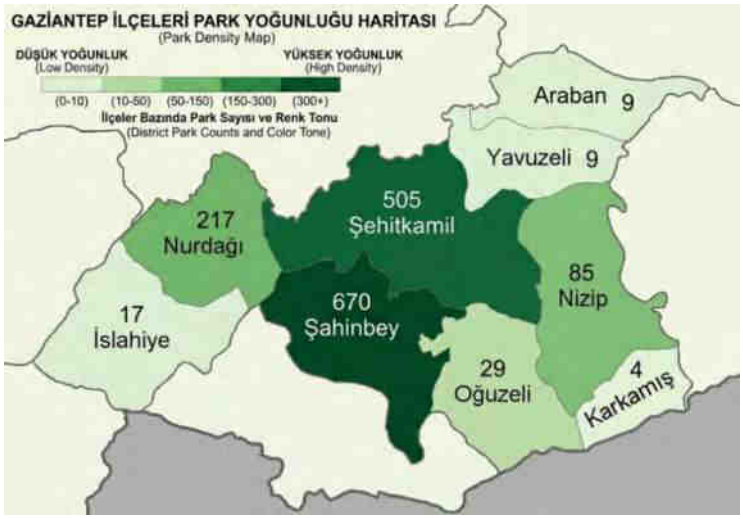


Resim 2. Ekolojik Koridor ve Bazı Parklar

5.3.4. Diğer Park ve Yeşil Alanlar

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'nin yeşil altyapı politikaları kapsamında, belediye sorumluluğunda bulunan park ve rekreasyon alanlarının sayısında önemli bir artış yaşanmıştır. Güncel veriler doğrultusunda Büyükşehir Belediyesi bünyesinde toplam 136 park alanı bulunmakta olup, bu parkların 20'si tematik park niteliğinde hizmet vermektedir. Tematik park yaklaşımı; rekreasyonel, kültürel ve eğitsel işlevleri bir araya getirerek kent sakinlerinin farklı yaş ve kullanım ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde planlanmaktadır. Bu kapsamda, kent belleğinde önemli yere sahip olan İstasyon Park, Fıstık Park ve Tüfekçi Yusuf Parkı gibi tarihsel ve kültürel değeri bulunan kamusal alanlar restore edilerek yeniden işlevlendirilmiş ve kentsel yaşamın kullanımına kazandırılmıştır. Söz konusu uygulamalar, yalnızca fiziksel çevrenin iyileştirilmesini değil, aynı zamanda kentsel kimliğin korunmasını ve kamusal mekân sürekliliğinin sağlanmasını da amaçlamaktadır. Ayrıca Gaziantep Büyükşehir Belediyesi sorumluluğunda bulunan toplam 11,5 milyon m² yeşil alan varlığı, kentin ekolojik sürdürülebilirliğini destekleyen önemli bir yeşil altyapı kapasitesine işaret etmektedir. (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2025).

5.4. Mekânsal Dağılım Özellikleri



Şekil 5 İlçe Bazında Park Yoğunluk Haritası (İlçe Belediyelerinden Alınan Veriler Sonucunda Türetilmiştir.)

Kentsel yeşil alanların mekânsal dağılımı; yalnızca toplam miktar değil, erişilebilirlik ve coğrafi adalet açısından da değerlendirilmesi gereken çok boyutlu bir sorundur (Barbosa ve diğerleri, 2007). Gaziantep Büyükşehir Belediyesi bünyesinde yapılan mekânsal yeterlilik ve ulaşılabilirlik analizleri; yeşil alan yoğunluğunun Şahinbey ve Şehitkamil gibi merkezi ilçelerde belirgin biçimde daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır (Keskin & Uzun, 2022). Sınır ilçelerde ve gecekondu dönüşüm alanlarında ise hem yeşil alan miktarı hem de erişim mesafeleri bakımından bu ilçelerin geliştirilmeye açık olduğu belirlenmiştir.

6. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ

6.1. YEŞİLANTEP Projesi

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından yürütülen YEŞİLANTEP Projesi, kentin doğu-batı ve kuzey-güney ekseninde yeşil alan bütünlüğünü tesis etmeye yönelik kapsamlı bir girişimi ifade etmektedir (Gazete Rize, 2025). Proje kapsamında yeni parklar tesis edilmekte, mevcut yeşil bantlar genişletilmekte ve kent içi boş araziler peyzaj değerlendirmesine alınmaktadır. Gerçekleştirilen yeşil alan çalışmalarının başlıca etkileri şu şekilde özetlenebilir:

- **Mikro iklim düzenlemesi:** Ağaçlık ve bitki örtüsü, kentsel ısı adası etkisini hafifletmekte; yaz aylarında yüzey sıcaklıklarını düşürmektedir.
- **Biyoçeşitlilik:** Bitki ve hayvan çeşitliliğinin desteklenmesi; özellikle Galle Park'taki tematik bahçeler, farklı iklim kuşaklarından bitki türlerini bir arada barındırmaktadır.
- **Hava kalitesi:** Yapılan ağaçlandırma çalışmaları, CO_2 tutumu ve oksijen üretimi bakımından ölçülebilir katkılar sağlamaktadır (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2023).
- **Sosyal uyum ve toplum sağlığı:** Kentsel rekreasyon alanlarına erişim; fiziksel aktivite, ruh sağlığı ve toplumsal bütünleşme üzerinde olumlu etkiler doğurmaktadır (WHO, 2016).
- **Turizm ve kentsel marka:** Ödüllü parklar ve tematik bahçeler, Gaziantep'in gastronomi turizmine ek olarak doğa ve kültür turizmi alanındaki çekiciliğini artırmaktadır.

6.2.Sürdürülebilirlik

Gaziantep'in yarı kurak iklimi, yeşil alan yönetiminde su tasarrufu odaklı bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Damla sulama sistemleri, gri su geri dönüşümü ve kuraklığa dayanıklı yerel bitki türlerinin kullanımı bu bağlamda öne çıkan sürdürülebilir uygulamalar arasında sayılmaktadır. Galle Park'ın Biyodost Açık Yeşil Alan statüsü; su yönetimi, yerli tür kullanımı ve doğayla bütünleşik mimari anlayışını esas alan bir tasarım felsefesini yansıtmaktadır (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2025). Rekreasyon alanlarına erişimin coğrafi ve sosyo-ekonomik açıdan eşit dağılmaması, kentsel yeşil adalet tartışmalarının merkezine taşınmaktadır. Gaziantep örneğinde, dezavantajlı mahallelerde ve ilçe merkezlerinden uzak alanlarda yeşil alan yoğunluğunun düşük kalması; planlama süreçlerinde katılımcılık, eşitlik ve öncelik belirleme meselelerini gündeme getirmektedir (Keskin & Uzun, 2022).

Büyük ölçekli parkların yapım maliyetlerinin yanı sıra uzun vadeli bakım, sulama ve peyzaj yönetimi giderleri, belediye bütçeleri üzerinde kalıcı bir yük oluşturmaktadır. EBRD finansmanı ve uluslararası proje ortaklıkları, bu yükün bir bölümünü karşılamaktadır. Ancak yeşil altyapı yatırımlarının uzun vadeli sürdürülebilirliği, çeşitlendirilmiş finansman modellerini gerektirmektedir (EBRD, 2023). Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'nin sürdürülebilir kentsel yeşil alan yönetimindeki kurumsal kapasitesi; ayrı daire başkanlıklarının kurulması, iklim ve imar master planlarının eş zamanlı hazırlanması ve uluslararası programlara katılım yoluyla güçlendirilmiştir. (Anadolu Ajansı, 2024).

7. GELECEK PERSPEKTİFİ, SONUÇ VE ÖNERİLER

İklim değişikliğinin kentsel ısı adaları, kuraklık sıklığı ve ekstrem hava olayları üzerindeki giderek artan etkileri göz önüne alındığında, Gaziantep'in yeşil alan stratejisinin iklim uyum bileşenini güçlendirmesi gerekmektedir. Bu çerçevede;

- Kentin gölge haritasına dayalı yeşil alan öncelik alanlarının belirlenmesi,
- Yağmur bahçeleri ve biyolojik süzme sistemlerinin kentsel tasarıma entegrasyonu,
- Isıya ve kuraklığa dirençli yerli bitki türleri ile biyolojik çeşitliliğin planlamaya dahil edilmesi önerilmektedir.

Rekreasyon alanlarının mekânsal dağılımındaki eşitsizliklerin giderilmesi için mahalle ölçeğinde yeşil alan planlama kılavuzlarının hazırlanması ve çevre ilçelerin yeşil alan stoğunun özelleştirilmiş proje paketleriyle artırılması planlanabilir. 500 metre yürüyüş mesafesinde bir yeşil alana erişim standartlarının tüm mahallelere uygulanması hedeflenmesi, sosyal sürdürülebilirlik bakımından belirleyici bir adım olacaktır.

Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı sulama sistemleri, Park Yönetim Bilgi Sistemleri (PYMBS) ve uzaktan algılama teknolojilerinin rekreasyon alan yönetimine entegrasyonu; kaynak verimliliğini artırma, biyoçeşitlilik izleme ve kullanıcı memnuniyeti ölçümü açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. EBRD Yeşil Şehirler çerçevesinde akıllı şehir uygulamalarının yeşil altyapı yönetimiyle birleştirilmesi, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada stratejik bir kaldıraç işlevi görecektir (EBRD, 2023).

Hobi bahçeleri, topluluk bahçeleri ve okul-park ortaklıkları gibi katılımcı modellerin yaygınlaştırılması; hem yeşil alan bakım yükünü paylaştırma hem de sosyal uyum ve çevre farkındalığı açısından değer üretmektedir. Alleben Koridoru'nda planlanan hobi bahçeleri bu modelin somut bir uygulamasına örnek teşkil etmektedir (Anadolu Ajansı, 2024).

Gaziantep'te kentsel yeşil alan araştırmalarının kurumsal bir zemine oturtulması gerekmektedir. Üniversite-belediye ortaklıklarıyla yürütülecek biyoçeşitlilik envanterleri, mekânsal erişilebilirlik analizleri ve uzaktan algılama çalışmaları, planlama kararlarını güçlü veri temelleriyle destekleyecektir. Bu çerçevede Gaziantep Üniversitesi Biyoloji, Peyzaj Mimarlığı ve Coğrafya bölümlerinin bütünleşik araştırma projelerinde yer alması önerilmektedir.

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2014–2025 dönemini kapsayan yaklaşık on yıllık süreçte rekreasyon alanları yönetiminde kayda değer bir dönüşüm gerçekleştirmiştir. Kişi başına düşen yeşil alan miktarının 8,51 m²'den 13,48 m²'ye yükseltilmesi; ağaçlandırma, büyük ölçekli park yapımı ve uluslararası sürdürülebilirlik programlarına entegrasyon gibi çok boyutlu stratejilerin ürünü olarak değerlendirilmektedir.Galle Park'ın Biyodost Alan ve Yeşil Bayrak ödülleriyle tescillenen başarısı, Alleben Vadisi Yaşam Koridoru'nun yenilikçi lineer yeşil alan anlayışı ve YEŞİLANTEP projesinin kent geneline yayılma hedefi; Gaziantep'i bölgesel ölçekte kentsel sürdürülebilirlik alanında öncü konuma taşımaktadır. Bununla birlikte, çevre ilçelerde mekânsal yetersizliklerin sürmesi, iklim değişikliğinin yarattığı baskılar ve uzun vadeli bakım ekonomisi gibi yapısal sorunlar çözüm beklemektedir.Sonuç olarak, bütüncül yeşil altyapı politikası, kurumsal kapasite

geliştirme ve uluslararası iş birlikleriyle desteklenen Gaziantep modeli; benzer demografik ve iklimsel profillere sahip Türkiye'nin diğer büyükşehirleri için de ilham verici bir referans çerçevesi sunmaktadır.

KAYNAKLAR

Altuntaş, A. (2025). Yeşil Altyapı Ve Ekolojik Koridorlar: Peyzaj Ölçeğinde Bağlantılılık. *Peyzaj-Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi*, *7*(2), 266-279.

Anadolu Ajansı. (2024, 27 Haziran). *Gaziantep'te kişi başına düşen yeşil alanın 15 metrekareye çıkarılması hedefleniyor*. https://www.aa.com.tr/tr/gundem/gaziantepte-kisi-basina-dusen-yesil-alanin-15-metrekareye-cikarilmasi-hedefleniyor/3260708

Ayık, C. (2025). Rekreasyon alanından yapı yoğun kentsel alana: Atakum örneği. İDEALKENT, (49), 244-272.

Barbosa, O., Tratalos, J. A., Armsworth, P. R., Davies, R. G., Fuller, R. A., Johnson, P., & Gaston, K. J. (2007). Who benefits from access to green space? A case study from Sheffield, UK. *Landscape and Urban Planning*, *83*(2–3), 187–195. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.04.004

Çevik, C., & Yılmaz, H. (2025). Biyodost Park Kriterleri Açısından Galle Park Kent Parkının Analizi. *Bahçe*, *54*(Özel Sayı 1), 449-458.

European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). (2023). *Gaziantep Green City Action Plan (GCAP)*. EBRD Green Cities Programme. https://ebrdgreencities.com/assets/Uploads/PDF/GCAP-Gaziantep_ENG_FINAL_30-Oct23.pdf

Forman, R. T. T. (2014). *Urban ecology: Science of cities*. Cambridge University Press.

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi. (2023, 13 Haziran). *Gaziantep Büyükşehir, kişi başına düşen yeşil alanı yaklaşık 13 metrekareye çıkardı*. https://www.gaziantep.bel.tr/tr/haberler/gaziantep-buyuksehir-kisi-basina-dusen-yesil-alani-yaklasik-13-metrekareye-cikardi

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi. (2025). *Doğanın kalbinde kültürel bir yaşam alanı: Galle Park*. https://www.gaziantep.bel.tr/tr/projeler/doganin-kalbinde-kulturel-bir-yasam-alani-galle-park

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi. (2025, 30 Kasım). *Gaziantep'in yeşil incisi Galle Park, Uluslararası Yeşil Bayrak Ödülüne layık görüldü*. https://gaziantep.bel.tr/tr/haberler/gaziantepin-yesil-incisi-galle-park-uluslararasi-yesil-bayrak-odulune-layik-goruldu

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi. (2026.). *Teşkilat şeması*. Erişim tarihi: 22 Mayıs 2026.

Gül, A., Dinç, G., Akın, T., & Koçak, A. İ. (2020). Kentsel açık ve yeşil alanların mevcut yasal durumu ve uygulamadaki sorunlar. *İdealkent*, *11*(Kentleşme ve Ekonomi Özel Sayısı), 1281-1312.

Hassamancıoğlu, M. (2021). Türkiye'de yerel yönetimlerin kentsel açık-yeşil alan yönetimi stratejilerinin değerlendirilmesi. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, *18*(39), 1–28. https://doi.org/10.26466/opus.906382

Jim, C. Y., & Chen, W. Y. (2006). Perception and attitude of residents toward urban green spaces in Guangzhou (China). *Environmental management*, *38*(3), 338-349.

Kayan, K. (2015). Görev, yetki ve sorumluluklar açısından 5216 sayılı büyükşehir belediye kanunu'nun getirdiği yenilikler ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin uygulamaları. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, *5*(9), 199-224.

Keskin, M., & Uzun, O. (2022). Kentsel yeşil alanlar için mekânsal yeterlilik ve ulaşabilirlik analizi: Gaziantep/Şahinbey örneği. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *26*(4), 1621–1642. https://doi.org/10.31592/aeusbed.1108008

Mell, I. (2016). *Global green infrastructure: lessons for successful policy-making, investment and management*. Routledge.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2026). *İl ve ilçeler istatistikleri: Gaziantep*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü

Plant Dergisi. (2024, 23 Ağustos). *Gaziantep'in yeşil incisi: Galle Park*. https://www.plantdergisi.com/haber-gaziantepin-yesil-incisi-galle-park-4708.html

Resmi Gazete, (2014). Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği. Erişim Adresi (16.09.2019): http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/06/20140614-2.htm

T.C. Gaziantep Valiliği, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü. (2024). *Gaziantep ili 2024 yılı çevre durum raporu*. https://webdosya.csb.gov.tr/v2/ced/2026/01/Gaziantep_icdr2024-20260115134800.pdf

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2025). *Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları, 2025*. https://www.tuik.gov.tr

Ulusoy, R., & Turan, N. (2016). Gaziantep ekonomisinin Ortadoğu açısından önemi. *Gazi Akademik Bakış*, *9*(18), 141-165.

World Health Organization. (2016). *Urban green spaces and health* (No. WHO/EURO: 2016-3352-43111-60341). World Health Organization. Regional Office for Europe.

GAZIANTEP BÜYÜKŞEHIR BELEDIYESI KENT ORMAN VARLIĞININ EKOSISTEM HIZMETLERI AÇISINDAN DEĞERLENDIRILMESI

Banu GÖKÇEK[1], Fatih YAYLA[2], Ebru BOZLAR[3]

[1]Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-5097-0078

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-6490-6288

[3] Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9414-2760

Özet

Günümüz kentlerinde yeşil altyapının temel bileşeni olan kent ormanları; iklim değişikliğine uyum, karbon tutumu, hava kalitesinin iyileştirilmesi, yağmur suyu yönetimi, biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi ve toplum sağlığının güçlendirilmesi gibi çok boyutlu ekosistem hizmetleri sunmaktadır. Bu derleme çalışmasında, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'ne ait kent orman varlığı ekosistem hizmetleri yaklaşımı çerçevesinde mevcut literatür, belediye verileri ve ağaçlandırma kayıtları ışığında kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir.

Gaziantep, Akdeniz ile karasal iklim arasındaki geçiş kuşağında yer alması ve yarı kurak iklim koşulları nedeniyle kent ormancılığı açısından hem zorluklar hem de özgün fırsatlar barındıran bir kent ekolojisi laboratuvarı niteliği taşımaktadır. Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'nin kurum ve kuruluşların iş birliğiyle hayata geçirdiği YEŞİLANTEP Projesi; "Yeşil Şehirler, Huzurlu Nesiller" sloganıyla 45 etapta sürdürülmekte olup bu proje kapsamında kent genelinde 366.900 m² alan yeşillendirilmiş ve 17.418 ağaç toprakla buluşturulmuştur. Tür kompozisyonu incelendiğinde karaçam (*Pinus nigra*), çınar (*Platanus* spp.) ve ıhlamurun (*Tilia* spp.) ön plana çıktığı, bu türlerin hem kuraklığa dayanıklılık hem de karbon tutma kapasitesi açısından uygun seçimler olduğu görülmektedir. Mahalle ölçeğine yayılan çok odaklı ağaçlandırma yapısı, kamu kurumları ve sivil toplum kuruluşlarını kapsayan güçlü bir paydaş katılım modeliyle desteklenmektedir.

Çalışma sonucunda Gaziantep için öncelikli stratejiler olarak CBS tabanlı kent ormanı envanteri, kuraklığa dayanıklı tür seçimi, uzun dönemli bakım ve izleme, ekolojik koridor planlaması belediye iş birlikleri ile belirlenmelidir. Bulgular, Gaziantep kent ormancılığının sürdürülebilir bir yeşil altyapıya dönüşmesi için kurumsal kapasite, ekolojik planlama ve toplumsal katılımın eş zamanlı güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kent ormanı, Gaziantep, ekosistem hizmetleri, yeşil altyapı, kentsel ekoloji, ağaçlandırma, sürdürülebilir kent

1.Giriş

Küresel ölçekte hızla süren kentleşme süreci, doğal alanlar üzerindeki baskıyı giderek artırmakta ve kentsel ekosistemlerin direncini zayıflatan çok boyutlu çevresel sorunları beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda "kent ormanı" kavramı, yalnızca rekreasyonel ya da estetik bir unsur olarak değil; iklim değişikliğine uyum, hava kalitesinin iyileştirilmesi, karbon tutumu, yağmur suyu yönetimi ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi gibi temel ekosistem hizmetleri sunan stratejik bir yeşil altyapı bileşeni olarak değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmalar kent ağaçlarının yıllık ölçekte önemli miktarlarda karbon bağlayabildiğini ve hava kirleticilerini süzme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir (Yılmaz ve ark., 2011; Öner ve ark. 2007).

Ekosistem hizmetleri yaklaşımı, Binyıl Ekosistem Değerlendirmesi çerçevesinde tedarik edici, düzenleyici, destekleyici ve kültürel hizmetler şeklinde dört ana kategoride ele alınmaktadır. Kent ormanları bu dört kategoriye de katkı sağlamakla birlikte, düzenleyici ve kültürel hizmetler açısından kentsel bağlamda özellikle belirleyici bir role sahiptir (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Kentsel yeşil alanların biyoçeşitlilik desteğinden kentsel ısı adası etkisini azaltmaya uzanan geniş bir hizmet yelpazesine sahip olduğu ve kentsel ağaçların insan sağlığı, psikolojik iyilik hali ve stres azaltma üzerindeki olumlu etkilerini belgelemiştir (Akkurt ve Akten, 2021).

Kentsel doğayı görece pasif bir unsur olmaktan çıkararak kentlerin etkin bileşenlerine dönüştüren kent ormanları yaklaşımı, kentsel gelişim sürecinde insan ile doğa arasında birlikte var olmayı temel alan bir ilişkinin kurulmasına olanak sağlamaktadır. Böylece ekolojik ilkeler doğrultusunda toplum, ekonomi ve doğa arasında uyumlu ve sürdürülebilir bir gelişim süreci desteklenmektedir. Kentsel ormanların oluşturulması ise yalnızca ormanlık alanların korunması, iyileştirilmesi ve yeniden tesis edilmesini değil; aynı zamanda yeşil ağların, kentleşme ve iklim değişikliğinin olumsuz etkileri karşısında dirençsiz kalan geleneksel gri altyapı sistemlerine entegre edilmesini de teşvik etmektedir (Wang ve ark., 2024).

Bu çalışma, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'nin sahip olduğu kent ormanı varlığını ekosistem hizmetleri yaklaşımıyla değerlendirmeyi ve kentin özgün iklim koşulları ile kentsel büyüme dinamikleri çerçevesinde sürdürülebilir bir yeşil altyapı perspektifi sunmayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında; belediyenin mevcut ağaçlandırma veri seti, tür kompozisyonu, lokasyon dağılımı ve paydaş katılım modeli incelenmiş; ulusal ve uluslararası literatür ile karşılaştırmalı bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Araştırma, Gaziantep kent ormancılığının yalnızca mevcut durumunu fotoğraflamakla kalmayıp, yapılması gereken atılımları ve gelecek perspektifini de ortaya koyması bakımından bütüncül bir derleme niteliği taşımaktadır.

2.Materyal ve Metot

Bu çalışma, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'nin açık erişimli ağaçlandırma veri seti, belediyenin resmi duyuru ve raporları, güncel ulusal-uluslararası akademik literatür ve çevre durum raporlarına dayanan bir derleme-değerlendirme çalışması niteliği taşımaktadır. Veri analizinde betimleyici istatistik yöntemleri uygulanmış; literatür taramasında ScienceDirect, DergiPark, Google Scholar ve Web of Science veri tabanlarından yararlanılmıştır. Ekosistem hizmetleri sınıflandırmasında Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi (MA-Millennium Ecosystem Assessment) ve Ekosistem

Hizmetlerinin Ortak Uluslararası Sınıflandırması (CICES-Common International Classification of Ecosystem Services) çerçevesi esas alınmıştır.

3.Bulgular ve Tartışma

3.1. Gaziantep'te Kentsel Yeşil Altyapi Ve Kent Ormanciliği

3.1.1 Gaziantep İlinin Genel Özellikleri

Gaziantep, Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan, 36° 28' ve 38° 01' doğu boylamları ile 36° 38' ve 37° 32' kuzey enlemleri arasında bulunan bir büyükşehirdir. Nüfusu 2025 yılı itibarıyla 2,2 milyonu aşan Gaziantep, Türkiye'nin en kalabalık altıncı ilidir. Kentte Akdeniz ve karasal iklim özellikleri iç içe geçmekte; yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve yağışlı olmaktadır. Yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 600 mm civarındadır ve bu yağışların önemli bir bölümü kış-ilkbahar döneminde düşmektedir. Ortalama yıllık sıcaklık 15 °C dolayında olup ölçülen en yüksek sıcaklık 42 °C, en düşük ise -13 °C olarak kaydedilmiştir. Haziran-Eylül dönemi fizyolojik kuraklık açısından kritik aylardır ve bu dönem kent ağaçları için su stresi bakımından belirleyici bir evreye karşılık gelmektedir (T.C. Gaziantep Valiliği, 2024; TÜİK, 2025; Sönmez, 2018).

Kentin doğal bitki örtüsü maki ve step formasyonları tarafından şekillendirilmektedir; ancak tarihsel süreçte gerçekleştirilen insan faaliyetleri nedeniyle özgün bitki örtüsü büyük ölçüde tahrip edilmiştir. Bu durum, kentsel peyzajda gerçekleştirilecek ağaçlandırma çalışmalarının başarısını doğrudan etkileyen bir bağlam sunmaktadır (Külahlıoğlu ve Doygun, 2018).

3.1.2. Tarihsel Süreç ve Kurumsal Politika

Ormancılık mevzuatında bulunan yasal tanıma göre; doğal olarak yetişen ya da ağaçlandırma yolu ile yetiştirilen ağaç ve ağaççık toplulukları, yerleri ile birlikte ormandır (Yılmaz ve ark., 2011). Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'nin yeşil alan politikası, özellikle 2010'ların ortasından itibaren park düzenlemesinin ötesine geçerek kapsamlı bir kentsel ormancılık stratejisine dönüşme sürecine girmiştir. Bu dönüşümün en somut göstergesi, Gaziantep Valiliği ile koordineli biçimde yürütülen YEŞİLANTEP Projesi'dir. "Yeşil Şehirler, Huzurlu Nesiller" sloganıyla hayata geçirilen projenin 41. etabı kapsamında Şehitkamil ilçesi Belkıs Mahallesi'nde 9.000 m² alana 300 fidan dikilmiştir. Projenin bütünü ele alındığında, 2025 yılı itibari ile 45. Etap tamamlanmış ve kent merkezinde toplam 365.899 m² alanın yeşillendirildiği ve 17.418 ağacın toprakla buluşturulduğu bilinmektedir. Belediye, aynı dönemde kişi başına düşen yeşil alanı yaklaşık 13,48 m²'ye yükseltmiştir; bu değer Dünya Sağlık Örgütü'nün kişi başına 9 m² olarak belirlediği asgari eşiğin üzerindedir.

Kurumsal çerçeve açısından değerlendirildiğinde, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı bu çalışmaların koordinatörü konumundadır. Kamu kurum ve kuruluşlarının yanı sıra sivil toplum kuruluşlarının da projeye dahil edilmesi, katılımcı bir yönetişim modelinin hayata geçirildiğine işaret etmektedir.

Şekil 1. Yeşilantep Projesi Kapsamında Gerçekleştirilen Ağaçlandırma Çalışmalarından Bir Görünüm *(Kaynak: Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2021)*

3.1.3. Tür Kompozisyonu ve Ekolojik Uygunluk

Gaziantep kentsel ağaçlandırma çalışmalarında kullanılan türlerin başında karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold), çınar (*Platanus* × *acerifolia* (Aiton) Willd.) ve ıhlamur (*Tilia tomentosa* Moench) gelmektedir. Bu türlerin seçimi; hem yarı kurak Gaziantep iklimiyle uyumu hem de kanıtlanmış ekosistem hizmetleri kapasitesi bakımından değerlendirildiğinde, büyük ölçüde ekolojik açıdan doğru bir tercih olduğu anlaşılmaktadır (Ayan ve ark., 2021; Cariñanos ve ark., 2020; Alan ve ark., 2022).

Karaçam, özellikle Akdeniz ve karasal geçiş iklimlerinde uzun vadeli karbon depolama açısından yüksek performans sergilemekte olup Türkiye'deki kent ormanı çalışmalarında etkin karbon yutağı türü olarak kabul görmektedir (Pamukçu ve ark., 2023; Gül, 2024) Çınar, geniş taç yapısıyla kentsel ısı adası etkisini azaltma, toz tutma ve ince partikül madde ($PM_{2.5}$) filtreleme kapasitesiyle ön plana çıkmaktadır (Gaglio ve ark., 2022). Gölge sağlama işlevi sayesinde yazın kentsel yüzey sıcaklıklarını önemli ölçüde düşürebilmektedir. (Schwaab ve ark., 2021) Ihlamur ise hem toz tutma hem de tozu-kovucu özellikler açısından değerli bir kentsel tür olmakla birlikte çiçek dönemi ekolojik koridorlar için önemli bir böcek kaynağı niteliği taşımaktadır (Sæbø ve ark., 2012)

Tablo 3. Gaziantep Kent Ağaçlandırmasında Öne Çıkan Türler ve Ekosistem Hizmeti Kapasitesi

Tür	Bilimsel Adı	Kuraklık Toleran	Karbon Tutma	Toz Filtreleme	Gölge / Serinletme	Biyoçeşitlilik Desteği
Karaçam	Pinus nigra J. F. Arnold	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta	Orta
Çınar	Platanus × acerifolia (Aiton) Willd. / Platanus × hispanica	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Çok yüksek	Orta
Ihlamur	Tilia tomentosa Moench	Orta–yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Akasya	Robinia pseudoacacia L.	Yüksek	Orta	Düşük	Orta	Düşük–orta

Kaynak: Petrova (2024); Nowak ve Crane (2002); Cariñanos ve ark. (2019); Lind ve ark. (2023); Muhammad ve ark. (2022); Somme ve ark. (2016); Czaja ve ark. (2020); Vítková ve ark. (2017)

3.2. Ekosistem Hizmetleri Açisindan Değerlendirme

3.2.1. Düzenleyici Hizmetler

3.2.1.1. Karbon Tutumu ve İklim Değişikliğine Uyum

Kent ağaçları, atmosferden CO_2 absorbe ederek karbonu biyokütle ve toprak organik maddesi biçiminde depolamaktadır (Gül ve ark., 2021). Nowak ve Crane (2002), ABD genelindeki kent ağaçlarının brüt olarak yıllık yaklaşık 22,8 milyon ton karbon bağladığını tahmin etmiştir. Türkiye ölçeğinde gerçekleştirilen Bingöl Kültür Parkı çalışmasında ise 20 yıllık birikimli karbon tutumu değerlerinin bireysel ağaç ve tür bazında anlamlı biçimde farklılaştığı gösterilmiştir. Karaçam açısından Türkiye koşullarında yapılan çalışmalar, olgunlaşmış meşcerelerde hektar başına 119 tC'a kadar çıkan karbon stok değerlerini raporlamıştır (Caf, 2026).

Gaziantep özelinde, 17.418 ağacın toplam karbon tutma kapasitesine ilişkin henüz kapsamlı bir envanter çalışması bulunmamakla birlikte, literatür değerleri esas alındığında yaklaşık orta büyüklükte bir kentsel karbon yutağının oluşturulduğu söylenebilir. Ağaçların olgunlaştıkça karbon tutma kapasitelerinin arttığı göz önüne alındığında, uzun vadeli izlemenin stratejik değeri ortaya çıkmaktadır.

3.2.1.2. Kentsel Isı Adası Etkisinin Azaltılması

Kentsel ısı adası (KIA) etkisi; kentlerde beton ve asfalt yüzeylerin ısı depolaması, yeşil alanların azlığı ve antropojenik ısı üretimi nedeniyle kentsel ortam sıcaklığının çevreleyen kırsal alanlara kıyasla belirgin biçimde yükselmesidir(Oğuz & Tonyaloğlu, 2024). Gaziantep'te yazın 40 °C'yi aşabilen sıcaklıklar göz önüne alındığında, geniş taçlı ağaçların gölgeleme ve evapotranspirasyon yoluyla kentsel yüzey sıcaklıklarını 2–8 °C düşürebildiği tahmin edilmektedir. Taha (1997), kentsel ağaçların evapotranspirasyon kapasitesi sayesinde orta enlemlerdeki kentlerde yaz ayları boyunca belirgin enerji tasarrufu sağladığını göstermiştir.

3.2.1.3. Hava Kalitesi ve Toz Filtreleme

Kentsel ağaçlar; yaprak yüzeyleri aracılığıyla PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2, NO_2 ve ozon gibi hava kirleticilerini absorbe etmekte ve filtrelemektedir (Nowak et al., 2006; Nowak et al., 2018). Jeanjean vd. (2016), tarafından yürütülen çalışma, kentsel ağaç örtüsünün $PM_{2.5}$ miktarını %9 oranında azaltabileceğini ortaya koymuştur. Çınar ve ıhlamur gibi büyük yapraklı, yüksek yaprak alan indeksine (LAI) sahip türlerin toz tutma kapasitesi özellikle yüksektir (Gaglio et al., 2022; Yang et al., 2015). Sanayi ve trafik yoğunluğunun fazla olduğu Gaziantep kentsel alanlarında bu hizmetin değeri büyük önem taşımaktadır.

3.2.1.4. Yağmur Suyu Yönetimi

Kentsel ağaçlar, yağmur suyunu taca tuzaklama (intercepsiyon) yoluyla tutarak yüzey akışını azaltmaktadır. Kentsel ağaçların yağış tutma kapasitesi tür, taç hacmi, yaprak alanı ve yağış rejimine bağlı olarak değişmekte olup, tek bir ağacın yağış olayı sırasında yaklaşık 378 litreye kadar suyu geçici olarak tutabildiği; yıllık ölçekte ise bu kapasitenin ağaç başına birkaç metreküpe ulaşabildiği bildirilmektedir (Xiao & McPherson,

2002).17.418 ağacı kapsayan Gaziantep kent ormanı varlığının yıllık potansiyel yağmur suyu tutma kapasitesi yaklaşık 6,5 milyon litre olarak hesaplanabilmekte ve bu durum kentsel sel riskinin azaltılması bakımından anlamlı bir hizmet düzeyine karşılık gelmektedir.

3.2.2. Kültürel Hizmetler

3.2.2.1. Rekreasyon ve Toplum Sağlığı

Kent ormanları, kentlilere doğa temelli rekreasyon fırsatları sunarak fiziksel aktiviteyi artırmakta, ruh sağlığını desteklemekte ve toplumsal bağlılığı güçlendirmektedir. Ertürk ve ark. (2018) tarafından Gaziantep'te gerçekleştirilen araştırma, rekreasyonel faaliyetlerin kentte yaşayan bireylerin yaşam kalitesine önemli katkılar sağladığını göstermiştir. YEŞİLANTEP kapsamında planlanan 1,7 kilometrelik aydınlatmalı yürüyüş parkurları ile orman içi oyun alanları, bu kültürel hizmet boyutuna somut örnekler oluşturmaktadır.

Ulrich (1984) ve Kaplan (1995) tarafından geliştirilen dikkat yenileme kuramı, yeşil alanlarla temas halinde bulunmanın stres azaltma ve bilişsel işlev iyileştirme üzerindeki etkisini bilimsel olarak belgelemektedir. Bu bulguların kentsel ormancılık politikalarına entegre edilmesi, halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır.

3.2.2.2. Estetik ve Kentsel Kimlik

Gaziantep, tarihsel açıdan zeytin ve antep fıstığı bahçeleriyle özdeşleşmiş bir kenttir. Bu geleneksel bitki mirası, kent ormancılığı çalışmalarında yer verilecek türlerin seçimine kültürel bir boyut katmaktadır. Mevcut ağaçlandırma çalışmalarında egzotik türler yerine bölgeye özgü ve/veya kültürel değer taşıyan türlere yönelinmesi, estetik süreklilik ve kentsel kimlik açısından stratejik bir avantaj sağlayacaktır.

3.2.3. Destekleyici Hizmetler: Biyolojik Çeşitlilik

Kentsel yeşil alanlar, böcek, kuş ve diğer omurgasız canlılar için yaşam alanı ve ekolojik koridor işlevi görmektedir. Biyoçeşitlilik desteği açısından bakıldığında, Gaziantep kent ormanının mevcut hâliyle tek türe dayalı homojen bloklar yerine çeşitlendirilmiş bir peyzaja doğru evrilmesinin gerektiği anlaşılmaktadır. Yerli türler, özellikle de meyve veren veya çiçekli bitkiler; arı, kelebek ve kuş gibi polinatörlerin kentsel peyzajda tutunmasına zemin hazırlamaktadır.

3.3. PAYDAŞ KATILIM MODELİ VE KURUMSAL YAPI

3.3.1. Çok Paydaşlı Katılım Mekanizması

Gaziantep kent ormancılığı uygulamaları, çok paydaşlı bir katılım modeliyle hayata geçirilmektedir. Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı koordinasyonunda yürütülen çalışmalara Gaziantep Valiliği, ilçe belediyeleri, sivil toplum kuruluşları ve gönüllü bireyler aktif olarak dahil olmaktadır. Bu model, kentsel ormancılığın sürdürülebilirliği açısından uluslararası literatürde sıklıkla vurgulanan "yönetişim kapasitesi" kavramıyla örtüşmektedir (Konijnendijk ve ark., 2005). Protokoller aracılığıyla kurulan üniversite-belediye iş birliği zemini ise kent ormanı araştırma ve izleme kapasitesinin güçlendirilmesi bakımından kritik bir fırsat penceresi sunmaktadır.

3.3.2. Finansman ve Kurumsal Süreklilik

Ağaçlandırma çalışmalarının büyük çoğunluğunun belediye bütçesi ve valilik katkılarıyla finanse edildiği görülmektedir. Uluslararası yeşil altyapı standartları çerçevesinde değerlendirildiğinde, proje bazlı etap yapısının uzun vadeli bakım ve izleme maliyetleri açısından yapısal bir kırılganlık barındırdığı söylenebilir. Bu nedenle çok yıllık bütçe planlaması ve harici finansman kaynaklarına (AB Yeşil Mutabakat fonları, UNDP hibeler vb.) erişimin artırılması stratejik bir gereklilik olarak ön plana çıkmaktadır (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, 2023).

3.4 GAZİANTEP KENT ORMANCILIĞINDA ZORLUKLAR VE FIRSATLAR

3.4.1 Yapısal Zorluklar

Gaziantep kentsel ormancılığının karşı karşıya olduğu temel zorluklar şu şekilde sıralanabilir:

- **Yarı kurak iklim ve su stresi:** Yaz döneminde uzun süreli kuraklık, genç fidanlarda mortaliteyi artırmakta ve sulama maliyetlerini yükseltmektedir.
- **Kentsel yayılma baskısı:** Hızlı kentsel büyüme, tarım ve orman alanları üzerindeki baskıyı artırarak yeşil alan devamlılığını tehdit etmektedir.
- **Bakım ve izleme boşlukları:** Proje bazlı ağaçlandırma çalışmalarından sonra uzun vadeli bakım protokollerinin sistematik biçimde uygulanmaması, yapılan yatırımların ekosistem hizmeti potansiyelini azaltmaktadır.
- **CBS tabanlı envanter eksikliği:** Mevcut ağaçlandırma verisinin entegre, güncellenebilir ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) destekli bir platforma aktarılmamış olması, karar destek kapasitesini sınırlandırmaktadır.
- **Tür çeşitliliği yetersizliği:** Sınırlı sayıda türe dayanan kompozisyon, hem ekolojik çeşitliliği hem de olası hastalık/zararlı saldırısına karşı direnci zayıflatmaktadır.

3.4.2. Fırsatlar ve Gelecek Perspektifi

Gaziantep, yarı kurak iklim koşullarına karşın kent ormancılığı açısından değerlendirilmesi gereken önemli fırsatlar barındırmaktadır:

- **Bölgeye özgü kuraklığa dayanıklı türler:** Antep fıstığı (*Pistacia vera* L.), zeytin (*Olea europaea* L.) ve kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.) gibi kültürel değer taşıyan yerli türler, ekolojik uyumluluk ve düşük bakım maliyeti açısından güçlü adaylardır.
- **Üniversite–belediye iş birliği:** Gaziantep Üniversitesi bünyesindeki Biyoloji, Peyzaj Mimarlığı ve Çevre Mühendisliği gibi bölümlerle kurulacak araştırma ortaklıkları, kent ormanı envanter ve izleme çalışmalarını nitelikli insan gücüyle destekleyebilir.
- **Darı Ormanı ve yeni orman alanları:** Belediyenin 200 dönümlük yeni bir kent ormanı alanı olarak duyurduğu Darı Ormanı projesi, Gaziantep'e büyük ölçekli bir orman biyomunun kazandırılması açısından stratejik öneme sahiptir (T.C. Şehtkamil Kaymakamlığı, 2019) .
- **Ekolojik koridor planlaması:** Kent parkları, yol kenarı ağaçlandırmaları ve yeni orman bloklarının bağlantısallık ilkesiyle tasarlanması; biyolojik çeşitlilik ve ekosistem fonksiyonelliği açısından sinerjik bir etki yaratacaktır.

- **AB Yeşil Mutabakat ve iklim finansmanı:** Türkiye'nin yeşil dönüşüm taahhütleri ve uluslararası iklim fonlarına erişim, Gaziantep kent ormancılığına ek finansman kaynakları sunmaktadır.

4.Sonuç ve Öneriler

Çalışma bulgularının sentezi ve uluslararası iyi uygulama örnekleriyle karşılaştırmalı değerlendirmesi sonucunda Gaziantep kent ormancılığı için beş öncelikli strateji belirlenmiştir:

I. Mevcut ağaçlandırma kayıtlarının entegre, güncellenebilir ve uzaktan algılama verileriyle desteklenen bir CBS platformuna aktarılması, karar destek kapasitesini köklü biçimde artıracaktır. Stok, yaş sınıfı, sağlık durumu ve ekosistem hizmeti değerlemesinin CBS ortamında bütünleşik yönetilmesi, uluslararası standartlarda (örn. i-Tree Eco) bir kent ormanı envanter sisteminin kurulmasına zemin hazırlayacağı düşünülmektedir.

II. Mevcut tür kompozisyonunun genişletilmesi, özellikle bölgeye özgü kuraklığa dayanıklı türlerin (antep fıstığı, zeytin, kermes meşesi, akçakesme, boylu ardıç) ağaçlandırma listelerine sistematik biçimde dahil edilmesi gerekmektedir. Hiçbir türün toplam ağaç stokunun %10'undan fazlasını oluşturmaması olarak formüle edilen "yüzde onlu kural" (Santamour, 1990), tür çeşitliliği rehberi olarak benimsenmelidir.

III. Ağaçlandırma sonrası bakım protokollerinin en az 5 yıllık periyotlar için programlanması ve bu süreçte mortalite oranı, büyüme performansı ve ekosistem hizmeti göstergelerinin düzenli izlenmesi kritik önem taşımaktadır. İzleme faaliyetleri, üniversite araştırma projeleri veya staj programları aracılığıyla sürdürülebilir bir insan gücü kapasitesiyle yürütülebilir.

IV. Kentsel ağaçlandırma alanlarının yalnızca birbirinden bağımsız yeşil adacıklar olarak değil, ağ benzeri bir ekolojik koridor sistemi olarak tasarlanması gerekmektedir. Bu yaklaşım; polinatör habitatının güçlendirilmesi, kuş göç güzergâhlarının desteklenmesi ve kentsel biyoçeşitlilik kalıplarının iyileştirilmesi açısından belirleyici bir strateji niteliği taşımaktadır.

Gaziantep Üniversitesi ile ortak yürütülecek uzun dönemli izleme projeleri, karbon stoku envanterleri ve kentsel ekoloji araştırmaları hem bilimsel çıktı üretmekte hem de belediyenin politika geliştirme kapasitesini güçlendirmektedir. Sivil toplum katılımının gönüllü ağaç benimseme programları, mahalle bazlı ağaçlandırma günleri ve çevre eğitimi etkinlikleri aracılığıyla kalıcı kılınması toplumsal sahiplenmeyi artıracaktır.

Türkiye genelinde yürütülen kent ormancılığı çalışmaları incelendiğinde, Bingöl, Isparta ve İstanbul gibi kentlerdeki deneyimlerin Gaziantep uygulamalarıyla ilginç karşılaştırma olanakları sunduğu görülmektedir. Türkiye'de kentsel ağaçların ekosistem hizmetlerini sayısal ve ekonomik olarak değerlendiren güncel örneklerden biri Bingöl Kültür Park çalışmasıdır.

Kültür Park'ta bulunan 353 ağacı MyTree programı kullanılmış ve The National Tree Benefit Calculator (NTBC) modeli ile incelemiş; ağaçların yıllık toplam ekosistem hizmeti değerini 388,08 ABD doları, 20 yıllık projeksiyon değerini ise 8.576,96 ABD doları olarak hesaplamıştır. Bu bulgu, Gaziantep'te yürütülen daha geniş ölçekli kentsel ağaçlandırma çalışmalarının da benzer biçimde karbon tutumu, hava kalitesinin iyileştirilmesi ve ekonomik ekosistem hizmeti üretimi bakımından ölçülebilir bir değer taşıdığını göstermesi açısından karşılaştırmalı bir ulusal örnek sunmaktadır (Caf, 2026). Isparta kentinde gerçekleştirilen biyokütle ve karbon tutumu çalışmaları, kent ağaçlarının tür bazında farklı karbon stok değerlerine sahip olduğunu ortaya koymuştur (Tuğluer ve Gül, 2018). İstanbul Atatürk Kent Ormanı üzerine yürütülen ekosistem hizmetleri ve ekolojik risk değerlendirmesi çalışması ise büyük ölçekli kent ormanı yönetiminin çok boyutlu bir değerlendirme çerçevesini zorunlu kıldığını vurgulamaktadır (Üstün Topal ve Demirel, 2023). Gaziantep'i bu örneklerden ayıran temel unsur, yarı kurak iklim koşulları altında sürdürülen ağaçlandırma çalışmalarının kendine özgü ekolojik kısıtları ve fırsatlarıdır.

Uluslararası ölçekte değerlendirildiğinde, Frontiers in Sustainable Cities'de yayımlanan Finlandiya'nın Turku kenti üzerine yapılan araştırma (2023); yaş sınıfı yapısındaki değişimin karbon tutumundan daha hızlı biçimde hava kirliliğini azaltma hizmetini etkilediğini göstermektedir (Mänttäri ve ark., 2023). Bu bulgu, Gaziantep için de ağaç yaşı ve tür bileşiminin ekosistem hizmetleri çıktıları üzerindeki belirleyici rolünü vurgulamaktadır.

Bu çalışmada Gaziantep Büyükşehir Belediyesi kent orman varlığı, 45 lokasyon, 366.900 m² alan ve 17.418 ağaç/fidanı kapsayan bir veri seti temelinde ekosistem hizmetleri yaklaşımıyla kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. YEŞİLANTEP Projesi, Gaziantep'in yarı kurak iklim koşullarında sürdürülebilir bir yeşil altyapı oluşturma yolundaki kurumsal kararlılığının en somut göstergesidir. Kişi başına düşen yeşil alanın DSÖ eşiğini aşması olumlu bir gelişme olmakla birlikte, alanların mekânsal dağılımı, tür çeşitliliği, uzun dönemli bakım ve izleme kapasitesi ile CBS destekli envanter eksikliği, Gaziantep kent ormancılığının önündeki yapısal boşluklar olarak sürmektedir.

Sonuç olarak Gaziantep'te kent ormancılığının yalnızca ağaç sayısını artıran bir faaliyetten, iklim uyumlu, biyoçeşitlilik destekleyici ve toplum sağlığını güçlendiren çok işlevli bir yeşil altyapıya dönüşmesi için kurumsal kapasite, ekolojik planlama ve toplumsal katılımın eş zamanlı güçlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu çalışmanın Gaziantep özelinde ürettiği bulgular ve stratejik önerilerin, benzer iklim kuşaklarındaki diğer Türkiye kentleri için de yol gösterici olabileceği değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

Akkurt, Y., & Akten, M. (2021). Kent Parklarında Ekosistem Hizmetlerinin Rolü. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, *6*(1), 348-357.

Alan, M., Güngöroğlu, C., & Coşgun, U. (2022). Gümüşi Ihlamur (Tilia tomentosa). *Lyon: Livre de Lyon*.

Ayan, S., Yücedag, C., & Simovski, B. (2021). A major tool for afforestation of semi-arid and anthropogenic steppe areas in Turkey: Pinus nigra JF Arnold subsp. pallasiana (Lamb.) Holmboe. *Journal of Forest Science*, *67*(10), 449-463.

Caf, A. (2026). My-Tree-Based Quantitative Assessment of Long-Term (20-Year) Carbon Sequestration and Ecosystem Services of Urban Trees: Evidence from Kültür Park, Bingöl. *Uluslararası Gıda Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, *6*(1), 86-93.

Cariñanos, P., Grilo, F., Pinho, P., Casares-Porcel, M., Branquinho, C., Acil, N., ... & Vilhar, U. (2019). Estimation of the allergenic potential of urban trees and urban parks: towards the healthy design of urban green spaces of the future. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(8), 1357.

Cariñanos, P., Ruiz-Peñuela, S., Valle, A. M., & de la Guardia, C. D. (2020). Assessing pollination disservices of urban street-trees: The case of London-plane tree (Platanus x hispanica Mill. ex Münchh). *Science of the Total Environment*, *737*, 139722.

Czaja, M., Kołton, A., & Muras, P. (2020). The complex issue of urban trees—Stress factor accumulation and ecological service possibilities. *Forests*, *11*(9), 932.

Ertürk, M., Olcay, A., & Mısırlıoğlu, G., (2018). Kentsel Rekreasyon Alanlarında Hizmet Kalitesinin Ölçümü: Gaziantep Örneği. I. Uluslararası Beden Eğitimi, Spor, Rekreasyon Ve Dans Kongresi (Pp.427). İstanbul, Turkey

Gaglio, M., Pace, R., Muresan, A. N., Grote, R., Castaldelli, G., Calfapietra, C., & Fano, E. A. (2022). Species-specific efficiency in PM2. 5 removal by urban trees: From leaf measurements to improved modeling estimates. *Science of The Total Environment*, *844*, 157131.

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, (2023). *Yeşilantep Projesi ile Şehirgösteren Mahallesi Yeşile Boyandı*, https://www.gaziantep.bel.tr/tr/haberler/yesilantep-projesi-ile-sehirgosteren-mahallesi-yesile-boyandi.

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, (2021). *Gaziantep Büyükşehir Geleceğe Nefes Veriyor* https://www.gaziantep.bel.tr/tr/haberler/gaziantep-buyuksehir-gelecege-nefes-veriyor.

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, (2025). *Gaziantep Millet Ormanı Şehre Kazandırılıyor.* https://www.gaziantep.bel.tr/tr/haberler/gaziantep-buyuksehirden-yeni-yesil-alan-calismasi.

Gül, A. (2024). Karbon Fiyatlama Yaklaşımları ve Yeşil Alan İlişkisi. İnce, K.(Ed.) Kentsel Yeşil Alanların Sürdürülebilir Yönetimi.(Temmuz, 2024), Bölüm 7, 201-235. ISBN: 978-625-367-746-6. *Kentsel Yeşil Alanların Sürdürülebilir Yönetimi*, *12698808*, 200.

Gül, A., Tuğluer, M., & Akkuş, F. G. (2021). KENTSEL YOL AĞAÇLARI ENVANTERİ VE KARBON TUTMA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ. *Turkish Journal of Forest Science*, *5*(2), 516-535.

Jeanjean, A. P., Monks, P. S., & Leigh, R. J. (2016). Modelling the effectiveness of urban trees and grass on PM2. 5 reduction via dispersion and deposition at a city scale. *Atmospheric Environment*, *147*, 1-10.

Kaplan, R., & Kaplan, S. (1995). *The experience of nature: A psychological perspective*. Ulrich's Bookstore.

Konijnendijk, C. C., Nilsson, K., Randrup, T. B., & Schipperijn, J. (Eds.). (2005). *Urban forests and trees: A reference book*. Springer.

Külahlıoğlu, M., & Doygun, H. (2018). Gaziantep Örneğinde Kentsel ve Kırsal Peyzaj Özelliklerinin İncelenmesi ve Peyzaj Planlama Önerileri Geliştirilmesi. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi*, *8*(17), 47-58.

Lind, E., Prade, T., Sjöman Deak, J., Levinsson, A., & Sjöman, H. (2023). How green is an urban tree? The impact of species selection in reducing the carbon footprint of park trees in Swedish cities. *Frontiers in Sustainable Cities*, *5*, 1182408.

Mänttäri, M. M., Lindén, L., & Tuhkanen, E. M. (2023). Change in urban forest age structure affects the value of ecosystem services provided. *Frontiers in Sustainable Cities*, *5*, 1265610.

Muhammad, S., Wuyts, K., & Samson, R. (2022). Selection of plant species for particulate matter removal in urban environments by considering multiple ecosystem (dis) services and environmental suitability. *Atmosphere*, *13*(12), 1960.

Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental pollution*, *116*(3), 381-389.

Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, *4*(3-4), 115-123.

Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., & Pasher, J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, *29*, 40-48.

Oğuz, D., & Tonyaloğlu, E. E. (2024). Kentsel Isı Adası ve Açık Yeşil Alan Deseni. *Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi*, *7*(2), 165-175.

Öner, N., Ayan, S., Sıvacıoğlu, A., & İmal, B. (2007). Kent Ormancılığı ve Kent Ormanlarının Çevresel Etkileri. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, *7*(2), 190-203. https://izlik.org/JA34PM47PP

Pamukçu Albers, P., Balkız, Ö., Çağlayan, S. D., Bucak Onay, T., Çalışkan, B. K., Ülker, E. D., Bilgin, G. D., Lise, Y., Zeydanlı, U. S., & Özdemir, E. (2023). Üst ölçekli planlama kapsamında Türkiye'deki Akdeniz Ekolojik Bölgesi ormanlarında karbon tutumu. *Turkish Journal of Forestry*, *24*(4), 346-366. https://doi.org/10.18182/tjf.1371213

Petrova, S. (2024). The added value of urban trees (Tilia tomentosa Moench, Fraxinus excelsior L. and Pinus nigra JF Arnold) in terms of air pollutant removal. *Forests*, *15*(6), 1034.

Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H. M., Gawronska, H., & Gawronski, S. W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, *427*, 347-354.

Santamour, F. S. (1990). Trees for urban planting: Diversity, uniformity, and common sense. *Proceedings of the Seventh Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance (METRIA)*, *7*, 57–65.

Schwaab, J., Meier, R., Mussetti, G., Seneviratne, S., Bürgi, C., & Davin, E. L. (2021). The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nature communications*, *12*(1), 6763.

Somme, L., Moquet, L., Quinet, M., Vanderplanck, M., Michez, D., Lognay, G., & Jacquemart, A. L. (2016). Food in a row: urban trees offer valuable floral resources to pollinating insects. *Urban ecosystems*, *19*(3), 1149-1161.

Sönmez, M. E. (2018). Gaziantep Şehrinin Geçmişten Günümüze Alansal Gelişimi. *Gaziantep Üniversitesi Ayıntab Araştırmaları Dergisi*, *1*(1), 115-136. https://izlik.org/JA92PA94GS

T.C. Gaziantep Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü. (2024). *Gaziantep ili 2024 yılı çevre durum raporu*.

T.C. Şehtkamil Kaymakamlığı, 2019, Dülükbaba Biyolojik Gölet(Tabiat Parkı), Yayınlanma Tarhi:21.05.2019, https://sehitkamil.gov.tr/biyolojik-golet

Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and buildings*, *25*(2), 99-103.

Tuğluer, M., & Gül, A. (2018). Kent ağaçlarının çevresel etkileri ve değerinin belirlenmesinde UFORE modelinin kullanımı ve Isparta örneğinde irdelenmesi. *Turkish Journal of Forestry, 19*(3), 293–307. https://doi.org/10.18182/tjf.341054

TÜİK, (2026). *Nüfus İstatistikleri Portalı*. https://nip.tuik.gov.tr/

Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *science*, *224*(4647), 420-421.

Üstün Topal, T., & Demirel, Ö. (2023). Measuring air quality impacts of green areas and ecosystem services (ESs) using web-based i-Tree Canopy tool: A case study in İstanbul. *Turkish Journal of Forest Science, 7*(2), 253–266.

Vítková, M., Müllerová, J., Sádlo, J., Pergl, J., & Pyšek, P. (2017). Black locust (Robinia pseudoacacia) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe. *Forest ecology and management*, *384*, 287-302.

Wang, C., Jin, J., Davies, C., & Chen, W. Y. (2024). Urban forests as nature-based solutions: a comprehensive overview of the national forest city action in China. *Current Forestry Reports*, *10*(2), 119-132.

Xiao, Q., & McPherson, E. G. (2002). Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. *Urban ecosystems*, *6*(4), 291-302.

Yang, J., Chang, Y., & Yan, P. (2015). Ranking the suitability of common urban tree species for controlling PM2. 5 pollution. *Atmospheric pollution research*, *6*(2), 267-277.

Yılmaz, S., Bulut, Z., & Yeşil, P. (2011). Kent Ormanlarının Kentsel Mekana Sağladığı Faydalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *37*(1), 131-136. https://izlik.org/JA25DA23NT

BAKIYA BAĞLI MIKROKLIMATIK FARKLILIKLARIN KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) MEŞCERELERINDE YAPISAL STABILITE ÜZERINE ETKISI

Sena YAVRUOĞLU[1], Aysen SÜNBÜL[2]

[1]Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği, Trabzon, Türkiye, Orcid: 0009-0001-8048-4142

[2]Çukurova Üniversitesi, Ormancılık Bölümü, Adana, Türkiye,

Orcid: 0009-0008-2381-6818

Özet

Bu çalışma, Adana ili Aladağ yöresindeki kızılçam (*Pinus brutia)* meşcerelerinde bakıya bağlı mikroklimatik farklılıkların yapısal stabilite üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Bakı faktörü, özellikle güneşlenme süresi, sıcaklık ve toprak nemi gibi mikroklimatik koşulları doğrudan etkileyerek ağaç büyümesi ve meşcere yapısının şekillenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Çalışma kapsamında, güneşli ve gölgeli bakıyı temsil eden örnek alanlar seçilmiş; bu alanlarda ağaçların göğüs çapı (DBH) ve boy değerleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler kullanılarak boy/çap oranı (h/d) hesaplanmış ve meşcere yoğunluğuna ilişkin temel göstergeler belirlenmiştir. Belirlenen parametreler bakıya göre karşılaştırılmış ve yapısal farklılıklar incelenmiştir. Elde edilen bulgular, tüm örnek alanlarda h/d oranlarının düşük değerlerde olduğunu ve bu durumun yüksek yapısal stabiliteye işaret ettiğini göstermektedir. Farklı bakı koşullarına rağmen stabilite değerlerinin benzer düzeylerde olduğu belirlenmiş, bakının yapısal stabilite üzerinde belirgin bir farklılık oluşturmadığı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, çalışma alanındaki kızılçam meşcerelerinin mevcut yapısal durumunun stabil olduğu ve bakıya bağlı mikroklimatik farklılıkların bu stabilite üzerinde sınırlı bir etkiye sahip olduğu ortaya konulmuştur. Bu durum, meşcere yapısının dengeli gelişimi ve uygun yoğunluk koşulları ile ilişkili olabileceğini, yapısal stabilitenin yalnızca bakı faktörü ile değil, aynı zamanda meşcere yapısı ve rekabet koşulları ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: *Pinus brutia* (kızılçam), bakı, yapısal stabilite, h/d oranı, istikrarlılık

1. Giriş

Orman ekosistemlerinde meşcere yapısı ve yapısal stabilite, çevresel faktörlerin etkisi altında şekillenmektedir. Bu faktörler arasında yer alan bakı, güneşlenme süresi, sıcaklık ve toprak nemi gibi mikroklimatik koşulları doğrudan etkileyerek ağaç büyümesi ve meşcere gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle eğimli arazilerde bakıya bağlı olarak ortaya çıkan farklılıklar, aynı tür içerisindeki bireylerin gelişiminde belirgin değişimlere neden olabilmektedir.

Kuzey yarımkürede kuzeye bakan yamaçlar genellikle daha serin ve nemli koşullara sahipken, güney bakılar daha sıcak ve kurak mikroklimatik özellikler göstermektedir (Seyis & Özalp, 2022). Bu farklılıklar yalnızca yetişme ortamını değil, aynı zamanda ağaç türlerinin yayılışını, morfolojik özelliklerini ve meşcere kompozisyonunu da etkilemektedir. Dolayısıyla, bakıya bağlı mikroklimatik değişkenliklerin orman sağlığı ve meşcere kararlılığı üzerinde belirleyici bir rol oynadığı ifade edilmektedir (Kermavnar et al., 2020; Rita et al., 2021).

Bu durum, özellikle Akdeniz ekosistemleri gibi iklim değişikliğine duyarlı bölgelerde daha da önem kazanmaktadır. Söz konusu bölgelerde mikroklimatik farklılıkların, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem dinamikleri üzerindeki olası etkilerinin incelenmesi gerekliliği vurgulanmaktadır (Sarris & Christodoulakis, 2024). Topografyanın karmaşık olduğu alanlarda bu etkiler daha belirgin hale gelmekte; farklı bakıların ağaçların gövde kalitesi ve meşcere değeri üzerinde etkili olduğu görülmektedir (Budde et al., 2023; Yücesan et al., 2014). Ayrıca bu topografik farklılıklar, ağaçların boy ve çap gibi morfolojik özelliklerinde değişkenliğe yol açarak meşcere yapısının daha heterojen bir karakter kazanmasına neden olmaktadır. Bu süreç aynı zamanda mikroklimatik çeşitliliği artırmakta ve özellikle genç bireylerde büyümeyi etkileyen önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır (Li & Yang, 2004; Heydari et al., 2023; Kovács et al., 2016).

Yarı kurak bölgelerde *Pinus brutia* (kızılçam) plantasyonlarının, bakı ve mekânsal konfigürasyona bağlı olarak önemli ölçüde değiştiği belirlenmiştir. Özellikle doğu ve kuzeydoğu bakılarda, daha uygun mikroklimatik koşulların etkisiyle bireylerin hayatta kalma oranlarının ve büyüme performanslarının daha yüksek olduğu rapor edilmektedir (Daşdemir et al., 2019). Bu durum, mikroklima ve bakı faktörlerinin meşcere yapısı ve yapısal stabilite üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, mikrohabitat çeşitliliği ve heterojen meşcere yapıları, yalnızca stabiliteyi artırmakla kalmayıp, aynı zamanda biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi ve erozyon kontrolü gibi ek ekosistem hizmetlerine de katkı sağlamaktadır (Daşdemir et al., 2019). Bu bağlamda, mikrohabitat farklılıkları ve bakı etkisi, özellikle yazları kurak ve kışları yağışlı geçen yarı kurak iklim koşullarında, meşcerelerin yapısal tepkilerini şekillendiren temel çevresel faktörler arasında yer almaktadır.

Meşcere stabilitesinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan göstergelerden biri boy/çap oranıdır (h/d). Bu oran, ağaçların mekanik dayanımı ve devrilme riskine ilişkin önemli bilgiler sunmakta olup, yüksek h/d değerleri genellikle düşük stabilite ile ilişkilendirilmektedir (Pretzsch, 2009). Bu bağlamda, mikroklimatik koşullardaki farklılıkların h/d oranı üzerindeki etkisinin ortaya konulması, meşcere stabilitesinin anlaşılması açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışma, bakıya bağlı mikroklimatik farklılıkların Kızılçam meşcerelerindeki h/d (stabilite) oranları üzerindeki etkilerini inceleyerek, söz konusu meşcerelerin yapısal stabilitesine dair kapsamlı bir değerlendirme sunmayı hedeflemektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Araştırma, Adana ili Aladağ yöresinde doğal yayılış gösteren kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Çalışma alanı, Akdeniz iklim kuşağı

içerisinde yer almakta olup yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlı iklim özellikleri göstermektedir.

Şekil 1. Çalışma alanının genel görünümü

2.2. Örnek Alanların Belirlenmesi

Çalışma kapsamında, bakıya bağlı mikroklimatik farklılıkların yapısal stabilite üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla farklı bakı özelliklerini temsil eden toplam 6 örnek alan belirlenmiştir. Örnek alanların 3 adeti güneşli bakıyı, 3 adeti ise gölgeli bakıyı temsil edecek şekilde seçilmiştir. Güneşli bakılar, gün içerisinde daha uzun süre güneşlenmeye maruz kalan ve nispeten daha sıcak-kurak mikroklimatik koşullara sahip alanları; gölgeli bakılar ise daha sınırlı güneşlenme alan, nispeten serin ve nemli mikroklimatik özellikler gösteren alanları temsil etmektedir.

Örnek alan seçiminde, bakı faktörü dışında diğer çevresel değişkenlerin etkisini azaltabilmek amacıyla alanların benzer yetişme ortamı özelliklerine sahip olmasına dikkat edilmiştir. Bu kapsamda örnek alanlar aynı yükselti basamakları içerisinden seçilmiş, böylece yükseltiye bağlı sıcaklık ve nem farklılıklarının çalışma sonuçları üzerindeki etkisi minimize edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca alanların benzer meşcere kuruluşu, kapalılık ve gelişim özelliklerine sahip olmasına özen gösterilmiştir.

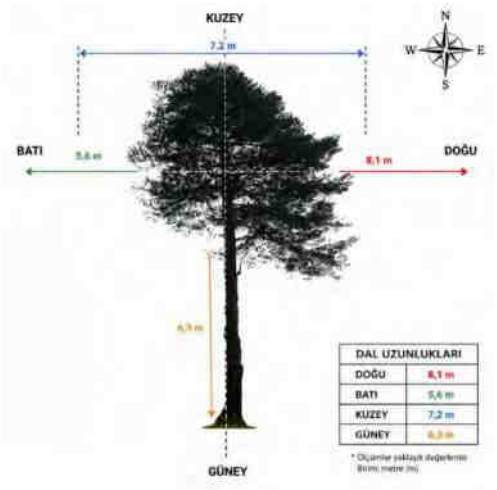
Örnek alanlar, meşcere yapısını temsil edecek şekilde homojen kuruluşlu bölgelerde tesis edilmiş ve her bir örnek alan 20 m × 50 m boyutlarında, toplam 1000 m² büyüklüğünde oluşturulmuştur (Tablo 1). Bu örnekleme yaklaşımı ile bakıya bağlı mikroklimatik farklılıkların stabilite (istikrarlılık) üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Tablo 1. Arazi ölçüm karnesi

Örnek Alan No :						Mevkii							
Eğim :						Yeryüzü Şekli :							
Bakı :						Fotoğraf No :							
Kapalılık :						Ölçme Tarihi :							
Yükselti :						Ölçmeyi Yapan Kişi :							
No	Tür	Koordina (m)		Çaplar (cm)		Boy (m)	Tepe Başı Yük. (m)	Çift Kabuk Kalınlık (mm)	Yaş	Dal Uzunluğu (cm)*			
		X	Y	$d_{1.30}$	d_o					D	B	K	G
1													
2													
3													

2.3. Verilerin Alınması

Çalışma kapsamında, örnek alanlarda yer alan ağaçlara ait çeşitli dendrometrik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ağaçların dip kütük çapı ($d_{0.30}$), göğüs çapı ($d_{1.30}$), boy (h), tepe başlangıç yüksekliği ölçülmüştür. Ayrıca taç gelişiminin ortaya konulabilmesi amacıyla kuzey-güney ve doğu-batı yönlerindeki dal uzunlukları belirlenmiştir. Bunun yanında, örnek alan içerisindeki ağaçların konumları kayıt altına alınmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Örnek alandaki ağaçların kuzey-güney ve doğu-batı yönlerindeki dal uzunluklarının belirlenmesi

Meşcere yapısının daha ayrıntılı değerlendirilmesini sağlamak amacıyla örnek alanların coğrafi ve topoğrafik özellikleri de belirlenmiştir. Bu doğrultuda her örnek alanın koordinat bilgileri GPS yardımıyla kaydedilmiş, yükselti değerleri ölçülmüş ve bakı özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler sayesinde, örnek alanların yalnızca biyotik özellikleri değil; aynı zamanda topoğrafya, konum ve mikroklimatik koşulları yansıtan abiyotik özellikleri de değerlendirilerek kapsamlı bir veri seti oluşturulmuştur.

2.4. Meşcere İstikrarlılığının (Stabilite) Hesaplanması

Orman ekosistemlerinde stabilite (istikrarlılık), meşcerelerin rüzgâr, kar yükü, kuraklık, böcek ve mantar zararları gibi biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı direnç gösterebilme ve bozucu etkiler sonrasında ekolojik işlevlerini sürdürebilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Stabilite kavramı yalnızca bireysel ağaçların mekanik dayanıklılığını değil; aynı zamanda meşcere yapısı, tür kompozisyonu, yaş dağılımı ve çevresel faktörler arasındaki ekolojik dengeyi de kapsamaktadır.

Ormancılık çalışmalarında yapısal stabilite çoğunlukla ağaç boyu-göğüs çapı ilişkisi (h/d oranı), canlı tepe oranı, meşcere sıklığı ve rekabet düzeyi gibi parametreler aracılığıyla değerlendirilmektedir. Özellikle yüksek boy/çap oranına sahip bireylerin rüzgâr ve kar zararlarına karşı daha hassas olduğu, buna karşılık düşük boy/çap oranına sahip bireylerin daha yüksek mekanik dayanıklılık gösterdiği bildirilmektedir (Slodičák ve Novák, 2006).

Ekolojik açıdan stabilite kavramı, "direnç" (resistance) ve "dayanıklılık" (resilience) kavramlarıyla birlikte ele alınmaktadır. Direnç, ekosistemin bozucu etkilere rağmen mevcut yapısını ve işlevlerini koruyabilme yeteneğini ifade ederken; dayanıklılık, bozucu etkiler sonrasında sistemin yeniden eski işlevsel durumuna dönebilme kapasitesini tanımlamaktadır (Holling, 1973).

İklim değişikliğinin etkilerinin giderek artmasıyla birlikte meşcere stabilitesi ormancılık araştırmalarında daha önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir. Artan sıcaklıklar, kuraklık olayları ve ekstrem meteorolojik koşullar meşcere yapısını doğrudan etkileyerek stabilite üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Bu nedenle sürdürülebilir ormancılık uygulamalarında meşcere stabilitesinin korunması temel silvikültürel hedeflerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada doğal sarıçam meşcerelerinin yapısal stabilitesinin belirlenmesi amacıyla, ağaç boyu ile göğüs çapı arasındaki ilişkiyi ifade eden h/d1.30 oranı kullanılmıştır. Bu kapsamda her bireyin toplam boyu [h (cm)] ile göğüs çapı [d1.30 (cm)] ölçülmüş ve ilgili oran hesaplanmıştır.

Bireysel stabilite değerlendirmeleri ve Çolak ve Pitterle (1999) ile Van der Valk (2009) tarafından belirtilen kriterler esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre ağaçların gövde dolgunluğu ve mekanik dayanıklılığı h/d1.30 oranına göre sınıflandırılmıştır.

Elde edilen değerlere göre $h/d_{1.30}$ oranı 80'den küçük olan bireyler "stabil", 80–100 arasında bulunan bireyler "düşük stabiliteli" ve 100'den büyük olan bireyler ise "stabil olmayan" bireyler olarak değerlendirilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Araştırma alanlarında belirlenen örnek alanlara ait ortalama h/d oranları ve buna bağlı stabilite sınıfları Tablo 1'de verilmiştir.

Örnek Alan	Bakı	Ort. h/d (Stabilite Değeri)	Stabilite (%)
1 Nolu Alan	KB (Kuzeybatı)	42	%100
2 Nolu Alan	KB (Kuzeybatı)	35	%100
3 Nolu Alan	K (Kuzey)	35	%100
4 Nolu Alan	GB (Güneybatı)	43	%100
5 Nolu Alan	B (Batı)	43	%100
6 Nolu Alan	GD (Güneydoğu)	36	%100

Tablo 1. Örnek alanlara ilişkin ortalama stabilite değerleri ve stabilite yüzdeleri

Çalışma kapsamında farklı bakı koşullarına sahip doğal kızılçam meşcerelerinde yapısal stabilite özellikleri h/d1.30 oranı esas alınarak değerlendirilmiştir. Örnek alanlardan elde edilen ortalama h/d değerlerinin 35–43 arasında değiştiği belirlenmiştir. Tüm örnek alanlarda h/d oranlarının 80'in altında olması nedeniyle bireylerin tamamı "stabil" sınıfta değerlendirilmiştir.

En yüksek ortalama h/d değeri 4 ve 5 numaralı örnek alanlarda (GB–Güneybatı ve B–Batı bakı) 43 olarak belirlenirken, en düşük değerler ise 2 ve 3 numaralı örnek alanlarda (KB–Kuzeybatı ve K–Kuzey bakı) 35 olarak hesaplanmıştır. 1 numaralı örnek alanda ortalama h/d değeri 42, 6 numaralı örnek alanda ise 36 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada farklı bakı koşullarına sahip doğal kızılçam meşcerelerinde $h/d_{1.30}$ oranına göre elde edilen 35–43 aralığındaki değerler, tüm alanların 80'in altında kalması nedeniyle, meşcerelerin yüksek statik stabiliteye sahip olduğunu göstermektedir. Koniferlerde h/d oranının 80'in üzerinde olduğu durumlarda rüzgâr ve kar zararlarının belirgin biçimde arttığı, bu eşik değerin önemli bir stabilite sınırı olarak kullanılabildiği birçok çalışmada vurgulanmaktadır (Watt and Moore, 2023; Cheng vd. 2023) Yeni bir derleme çalışması da, h/d oranı <80 olan ibreli meşcerelerin "stabil", 80–100 aralığının "instabil", >100'ün ise çok instabil sınıfta değerlendirilebileceğini ve h/d'nin kar-kırılması ile devrilmeye karşı pratik bir gösterge olduğunu ortaya koymuştur (Skrzyszewski ve Pach, 2020) Bu bağlamda, kızılçam meşcerelerinde saptanan düşük h/d değerleri, rüzgâr ve kar zararlarına karşı yüksek mekanik dayanıklılık ile uyumlu görünmektedir. Çalışmada güney ve güneybatı bakılı alanlarda h/d oranlarının nispeten daha yüksek, kuzey ve kuzeybatı bakılı alanlarda ise daha düşük olması, bakıya bağlı mikroklimatik farklılıkların boy–çap ilişkisine yansıdığını göstermektedir. Yarı kurak dağlık ekosistemlerde bakı, güneşlenme süresi ve nem rejimini değiştirerek büyüme dinamiklerini ve meşcere yapısını belirleyen temel etmenlerden biridir (Maren vd. 2015; Wang vd. 2024; Örneğin, yarı kurak dağ ormanında yapılan ayrıntılı ölçümlerde, kuzey bakılı ve konverjan topoğrafik pozisyonlarda toprak neminin daha yüksek, buhar basıncı açığının daha düşük olduğu ve buna bağlı olarak büyüme

döneminin uzadığı gösterilmiştir (Malone, 2025) İnsan etkisi altındaki dağlık bir alanda ise, maksimum ağaç boyu, göğüs yüzeyi ve biyokütlenin yükseklik ve bakıya bağlı olarak değiştiği, güney bakılarda su stresi nedeniyle ağaç boyu ve göğüs yüzeyinin sınırlandığı bildirilmiştir (Cheng vd. 2023) Benzer biçimde, subtropikal bir ormanda mikrotopografya ve bakının ışık ve nemi yeniden dağıtarak komşuluk rekabetini ve büyümeyi farklı yönlerde etkilediği; güneşe bakan yamaçların genç bireylerde daha fazla büyüme sağlarken rekabeti de artırdığı, gölgeli yamaçların ise daha sabit nem koşullarıyla olgun ağaçların hayatta kalmasını desteklediği saptanmıştır (Xu vd. 2025). Bu sonuçlar, güney–güneybatı bakılarda nispeten daha yüksek boy gelişimine bağlı olarak h/d oranlarının artması, kuzey–kuzeybatı bakılarda ise daha dengeli boy–çap gelişimi ile daha düşük h/d değerlerinin elde edilmesi yönündeki bulgularımızı desteklemektedir.

Kızılçam ve yakın türlerle ilgili güncel çalışmalar, çap artımı, boy–çap ilişkisi ve tepe özelliklerinin meşcere dinamikleri ve stabilitesi açısından önemli olduğunu göstermektedir (Shater vd. 2011) Türkiye'de ve Doğu Akdeniz'de kızılçam için geliştirilen boy–çap modelleri, çap gelişiminin doğru tahmininin hem hacim hesabı hem de h/d oranına dayalı stabilite değerlendirmeleri için önemli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır (Mohammed, 2024) . Irak ve Suriye'de doğal veya yapay kızılçam meşcerelerinde yürütülen çalışmalar, farklı yükselti ve orografik koşullar altında çap dağılımlarının ve göğüs yüzeyi yapısının değiştiğini, ancak uygun yetişme ortamlarında daha kalın gövdeli bireylerin öne çıktığını ve bunun rekabet baskısını azaltarak meşcere stabilitesini artırdığını bildirmektedir

Elde edilen bulgular, tüm örnek alanların yüksek istikrarlılığa sahip olduğunu ve meşcerelerin yapısal açıdan stabil bir kuruluş gösterdiğini ortaya koymaktadır. Özellikle düşük h/d oranları, bireylerin yeterli çap gelişimi gösterdiğini ve rüzgâr ile kar zararlarına karşı dirençli bir yapı oluşturduğunu göstermektedir. Bakı grupları arasında değerlendirildiğinde, güney ve güneybatı bakılı alanlarda h/d oranlarının nispeten daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, güneşlenme süresinin fazla olması ve buna bağlı olarak oluşan mikroklimatik farklılıkların bireylerin büyüme dinamiklerini etkilemesi ile açıklanabilir. Buna karşın kuzey ve kuzeybatı bakılı alanlarda daha düşük h/d oranlarının belirlenmesi, bireylerin daha dengeli bir boy-çap gelişimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Literatürde düşük h/d oranlarının meşcere stabilitesi açısından olumlu bir gösterge olduğu ve mekanik dayanıklılığı artırdığı belirtilmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar da söz konusu değerlendirmeleri desteklemekte olup, araştırma alanındaki doğal kızılçam meşcerelerinin yapısal açıdan yüksek stabiliteye sahip olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, farklı bakı koşullarında bulunan örnek alanlar arasında belirli düzeyde değişimler görülmesine rağmen, tüm alanların stabil sınıfta yer aldığı ve çalışma alanındaki sarıçam meşcerelerinin mekanik dayanıklılık bakımından güçlü bir kuruluş sergilediği belirlenmiştir.

Kaynaklar

1. Budde, K. B., Rellstab, C., Heuertz, M., Gugerli, F., Hanika, T., Verdú, M., Pausas, J. G., & González-Martínez, S. C. (2023). Divergent selection in a Mediterranean pine on local spatial scales. *Journal of Ecology, 112*(2), 278–290. https://doi.org/10.1111/1365-2745.14231

2. Cheng, Z., Aakala, T., & Larjavaara, M. (2023). Elevation, aspect, and slope influence woody vegetation structure and composition but not species richness in a human-influenced landscape in northwestern Yunnan, China. https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1187724

3. Çolak, A. H., & Pitterle, A. (1999). *Yüksek Dağ Silvikültürü. Cilt I-Orta Avrupa, Genel Prensipler*. OGEM-VAK Yayınları, Ankara, 370 s.

4. Daşdemir, İ., Özel, H.-B., & Kaya, H. (2019). Technical and economical evaluations of Calabrian pine (*Pinus brutia*Ten.) semi-arid plantations in the Şanlıurfa-Harran Plain of Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research, 17*(2), 1757–1772. https://doi.org/10.15666/aeer/1702_17571772

5. Heydari, M., Cheraghi, J., Omidipour, R., Rostaminia, M., Kooch, Y., Valkó, O., & Carcaillet, C. (2023). Tree dieback, woody plant diversity, and ecosystem driven by topography in semi-arid mountain forests: Implication for ecosystem management. *Journal of Environmental Management, 339*, 117892. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117892

6. Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics, 4*, 1–23. https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245

7. Kermavnar, J., Ferlan, M., Marinšek, A., Eler, K., Kobler, A., & Kutnar, L. (2020). Effects of various cutting treatments and topographic factors on microclimatic conditions in Dinaric fir-beech forests. *Agricultural and Forest Meteorology, 295*, 108186. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108186

8. Kovács, B., Tinya, F., & Ódor, P. (2016). Stand structural drivers of microclimate in mature temperate mixed forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 11–21. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.11.268

9. Li, M., & Yang, J. (2004). Effects of microsite on growth of *Pinus cembra* in the subalpine zone of the Austrian Alps. *Annals of Forest Science, 61*(4), 319–325. https://doi.org/10.1051/forest:2004025

10. Malone, F., Hoylman, Z., Hu, J., & Jencso, K. (2025). Landscape influences on microclimate and tree growth cessation in a semi-arid montane forest. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 130*. https://doi.org/10.1029/2024JG008483

11. Måren, I., Karki, S., Prajapati, C., Yadav, R., & Shrestha, B. (2015). Facing north or south: Does slope aspect impact forest stand characteristics and soil properties in a semiarid trans-Himalayan valley? *Journal of Arid Environments, 121*, 112–123. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.06.004

12. Mohammed, A. (2024). Stand structure dynamic of Turkish pine (*Pinus brutia*) grown naturally in the Atrush region, Iraq. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. https://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.2.39

13. Pretzsch, H. (2009). *Forest dynamics, growth and yield*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4

14. Rita, A., Bonanomi, G., Allevato, E., Borghetti, M., Cesarano, G., Mogavero, V., Rossi, S., Saulino, L., Zotti, M., & Saracino, A. (2021). Topography modulates near-ground microclimate in the Mediterranean *Fagus sylvatica* treeline. *Scientific Reports, 11*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-021-87661-6

15. Sarris, D., & Christodoulakis, D. (2024). Topographic and climatic effects on *Pinus halepensis* s.l. growth at its drought tolerance margins under climatic change. *Journal of Forestry Research, 35*(1). https://doi.org/10.1007/s11676-024-01755-1

16. Seidl, R., Schelhaas, M. J., & Lexer, M. J. (2011). Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology, 17*(9), 2842–2852. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02452.x

17. Seyis, Y., & Özalp, M. (2022). Investigating survival/growth ratio of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) afforestation efforts and effects of BUROR terracing operations on some soil properties in the lands susceptive to soil erosion in Erzincan. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 23*(2), 184–197. https://doi.org/10.17474/artvinofd.1134683

18. Shater, Z., De-Miguel, S., Kraid, B., Pukkala, T., & Palahí, M. (2011). A growth and yield model for even-aged *Pinus brutia* Ten. stands in Syria. *Annals of Forest Science, 68*, 149–157. https://doi.org/10.1007/s13595-011-0016-z

19. Skrzyszewski, J., & Pach, M. (2020). The use of the slenderness coefficient in diagnosing wind damage risks. *Acta Silvestria*. https://doi.org/10.15576/actasilvestria/2020.lvii.7

20. Slodičák, M., & Novák, J. (2006). Silvicultural measures to increase the mechanical stability of pure secondary Norway spruce stands before conversion. *Forest Ecology and Management, 224*(3), 252–257. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.023

21. Van der Valk, A. G. (2009). *Herbaceous Plant Ecology*. Springer Science+Business Media B.V., Ames, USA, 361 s.

22. Wang, B., Wang, Z., Zhang, D., Li, L., Zhao, Y., Luo, T., & Wang, X. (2024). Spatial and temporal variation in primary forest growth in the northern Daxing'an Mountains based on tree-ring and NDVI data. *Forests*. https://doi.org/10.3390/f15020317

23. Watt, M., & Moore, J. (2023). Modeling spatial variation in radiata pine slenderness (height/diameter ratio) and vulnerability to wind damage under current and future climate in New Zealand. *Frontiers in Forests and Global Change*. https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1188094

24. Xu, J., Zhang, H., Qiao, Y., Yuan, H., Xu, W., & Xia, X. (2025). Effects of microtopography on neighborhood diversity and competition in subtropical forests. *Plants, 14*. https://doi.org/10.3390/plants14060870

25. Yücesan, Z., Üçler, A. Ö., & Oktan, E. (2014). Stability and stand value in high mountain forests of Fırtına Valley. *DergiPark (Istanbul University)*. https://dergipark.org.tr/en/pub/kastorman/issue/17231/179964

26. Pretzsch, H. (2009). *Forest dynamics, growth and yield* (Vol. 684). Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4

ÇANAKKALE İLİ ORMAN EKOSİSTEMLERİNİN EUNIS HABİTAT SINIFLANDIRMASINA DAYALI ANALİZİ

Ebru ÖZCAN [1] , Saadet İŞLEK [2]

[1]Orman Mühendisi, Botanik, Çanakkale, Türkiye, Orcid: 0009-0002-5905-6116

[2]Botanik, Orcid: 0000-0003-2623-3083

Özet

Orman ekosistemlerinin standartlaştırılmış hiyerarşik sistemlerle sınıflandırılması, biyoçeşitliliğin izlenmesi ve bölgesel koruma stratejilerinin geliştirilmesi açısından temel bir gereksinimdir. Bu çalışma, Avrupa, Asya ve Afrika kıtalarının kesişim noktasında önemli bir geçiş zonunda yer alan Çanakkale ilinin orman örtüsünü, güncel Avrupa Doğa Bilgi Sistemi (EUNIS) habitat sınıflandırması çerçevesinde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama verileri kullanılarak çalışma alanına ait habitat katmanları oluşturulmuş ve EUNIS sınıflandırmasına göre değerlendirilmiştir. Analizlerde EUNIS'in "T" (Orman ve diğer ağaçlık alanlar) ana kategorisi temel alınarak geniş yapraklı yaprak döken ormanlar (T1), herdem yeşil geniş yapraklı ormanlar (T2), iğne yapraklı ormanlar (T3), karışık ormanlar (T4) ve erken evre/ağaçlık alanlar (T5) incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, Çanakkale ilinde toplam ormanlık alan 522.492,80 hektar olup, bu alan il yüzölçümünün %55,49'unu oluşturmaktadır. Habitat tiplerinin dağılımında en geniş yayılışa sahip grubun %13,40 (126.123,02 ha) ile T19 (ılıman ve sub-Akdeniz yaprak döken ormanlar) olduğu belirlenmiştir. Bunu %13,04 (122.812,48 ha) ile kızılçam (T3A5) ve %12,95 (121.923,98 ha) ile geniş yapraklı yaprak döken ormanlar (T1) izlemektedir. Anadolu karaçamı (T3674) ormanları ise %10,75 (101.242,12 ha) oranında önemli bir yayılış göstermektedir. Doğal ormanların yanı sıra plantasyon alanları da dikkate alınmış; yerli çam plantasyonlarının (T3N2) %2,92 (27.493,03 ha) ve egzotik çam plantasyonlarının (T3M2) %1,60 (15.018,89 ha) oranında olduğu belirlenmiştir. Bölgenin endemik ve nadir habitatlarından olan Kazdağı Göknarı (T3332) ormanlarının ise %0,65 (6.152,46 ha) oranında sınırlı bir yayılışa sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, Çanakkale orman ekosistemlerine ait habitat tipleri güncel EUNIS (2021) habitat sınıflandırma sistemiyle uyumlu şekilde tanımlanmış ve ArcGIS yazılımı kullanılarak habitatların mekânsal dağılımını ortaya koyan bir EUNIS habitat haritası oluşturulmuştur. Çalışma, Çanakkale'nin doğal kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir kullanımına katkı sağlamanın yanı sıra, bölgedeki biyoçeşitlilik izleme, mekânsal planlama ve sürdürülebilir orman yönetimi uygulamaları için bilimsel altyapı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: ArcGIS, Çanakkale, EUNIS, Habitat Sınıflandırması, Orman Habitatları

1. Giriş

Bir türün yaşamını sürdürdüğü, beslenme, üreme ve barınma faaliyetlerini gerçekleştirdiği doğal yaşam ortamı habitat olarak ifade edilen bir kavramdır (Sevgi, 2016; Demir vd., 2022). Habitat çeşitliliği, ekosistemlerin ekolojik bütünlüğünü ve biyolojik zenginliğini belirleyen temel unsurlardan biridir. Ayrıca farklı habitat tiplerinin varlığı tür çeşitliliğinin artmasına doğrudan katkı sağlamaktadır (Işık ve Kurt, 2005; Çakmak ve Aytaç, 2021). Bu sebeple habitatların belirlenmesi, sınıflandırılması ve izlenmesi, biyolojik çeşitliliğin korunmasına yönelik yapılacak çalışmaların temelini oluşturmaktadır.

Biyoçeşitlilik; türler, genetik yapı ve ekosistem düzeyindeki tüm canlı çeşitliliğini kapsayan bir kavram olup (Biyoçeşitlilik Sözleşmesi, 1996; Primack, 2012), özellikle 1992 Rio Zirvesi sonrasında biyolojik çeşitliliğin korunmasına dair uluslararası çalışmalar hız kazanmıştır. Doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı için habitatı temel alan yaklaşımlar ön plana çıkmıştır (Erten, 2004). Habitatların korunması sadece türlerin devamlılığının sağlanmasına değil, aynı zamanda ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği bakımından da oldukça kritik bir öneme sahiptir (Miller-Rushing ve Weltzin, 2009; Polgar ve Primack, 2011).

Habitatların belirli standartlar çerçevesinde sınıflandırılması, ulusal ve uluslararası ölçekte yürütülen koruma ile yönetim çalışmalarında ortak bir veri altyapısının oluşturulmasında büyük katkı sağlamaktadır (Geven vd., 2016). Bu amaçla Avrupa Çevre Ajansı tarafından geliştirilen Avrupa Doğa Bilgi Sistemi (EUNIS), kara, tatlı su ve denizel habitatları hiyerarşik bir düzende tanımlayan kapsamlı bir sınıflandırma sistemi olarak kullanılmaktadır (Davies vd., 2004; Evans, 2012). Söz konusu sistem, Avrupa genelindeki habitatların benzer ölçütlerle değerlendirilmesine olanak sağlamakta ve biyolojik çeşitlilik araştırmalarında ortak bir referans niteliği taşımaktadır.

Türkiye, farklı iklim özellikleri, topoğrafik çeşitliliği ve üç ana flora bölgesinin kesişim alanında bulunması nedeniyle biyolojik çeşitlilik bakımından öne çıkan ülkelerden biridir (Avcı, 1993; Demirayak, 2002; Erdoğan, 2016). Bu kapsamda Çanakkale ili; Asya ve Avrupa kıtaları arasında köprü konumunda yer alması, Marmara ile Ege bölgeleri arasında geçiş özelliği göstermesi ve farklı ekosistem tiplerini barındırması nedeniyle dikkat çeken doğal alanlardan biridir (UBENİS, 2017). Özellikle orman ekosistemleri, bölgedeki ekolojik dengenin sürdürülmesi ve biyolojik çeşitliliğin korunması açısından önemli işlevler üstlenmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Çanakkale ili orman ekosistemlerinin Avrupa Doğa Bilgi Sistemi (EUNIS) habitat sınıflandırmasına göre analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama verileri kullanılarak orman habitat tipleri belirlenmiş, EUNIS habitat kodları ile eşleştirilmiş ve bölgenin orman ekosistemlerine ait habitat haritaları ArcGIS yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Elde edilen bulguların, Çanakkale'nin doğal kaynaklarının korunması, biyolojik çeşitliliğin izlenmesi ve etkili koruma yaklaşımlarının geliştirilmesi ve sürdürülebilir yönetim planlarının oluşturulmasına bilimsel bir altyapı sağlaması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Çanakkale ili orman ekosistemlerinin EUNIS habitat sınıflandırma sistemine göre analiz edilebilmesi amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapılmış ve çok kaynaklı veri setlerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanının doğal yapısı, flora

özellikleri, arazi kullanımı ve ekolojik durumuna ilişkin bilgiler; "Çanakkale İli Çevre Durum Raporu" (ÇED, 2022), "Çanakkale Florası" (Karabacak vd., 2019) ve Sayı (2013) başta olmak üzere çeşitli akademik yayınlar, tezler, proje raporları ve kurumsal dokümanlardan temin edilmiştir. Ayrıca, EUNIS habitat sınıflandırmasına ilişkin ulusal ve uluslararası literatür incelenerek değerlendirme sürecinde kullanılmıştır.

Habitat sınıflandırmasında kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) verileri farklı kurumlardan temin edilmiştir. Bu kapsamda, Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü'nden topoğrafik haritalar, orman meşcere haritaları ve hidroloji verileri ile Çanakkale Doğa Koruma ve Milli Parklar Şube Müdürlüğü'nden CORINE arazi örtüsü verileri (2012–2013) alınmıştır. Ayrıca, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Parsel Sorgulama Sistemi verileri ile Google Earth Pro uydu görüntülerinden yararlanılarak güncel arazi kullanım durumu değerlendirilmiştir.

Çalışma alanı olan Çanakkale ili, Marmara Bölgesi'nin batısında, Gelibolu ve Biga yarımadaları üzerinde konumlanmaktadır. Yaklaşık 650 km uzunluğundaki kıyı şeridine sahip olan il, Marmara Denizi ile Ege Denizi'ni birbirine bağlayan Çanakkale Boğazı üzerinde stratejik bir konuma sahiptir. Avrupa kıtasında yer alan Gelibolu Yarımadası ile Anadolu'daki Biga Yarımadası arasında bulunan Çanakkale'nin ilçelerinden Gökçeada Türkiye'nin en büyük adası, Bozcaada ise üçüncü büyük adasıdır. Ayrıca il, Yunanistan karasuları ile sınır komşusudur. Çalışma alanı, 25°37′–27°45′ doğu boylamları ile 39°40′–40°45′ kuzey enlemleri arasında yer almakta olup 12 ilçeden oluşan yaklaşık 9.933 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1) (Sayı ve Genç, 2013).

Şekil 2.1. Çanakkale İli ve ilçelerininin ArcGIS ile Google Earth üzerinde gösterimi (Orijinal)

Habitatların sınıflandırılmasında Davies vd. (2004) tarafından hazırlanan "EUNIS Habitat Classification System" ile EUNIS Habitat Type Hierarchical View'in kara (2021) ve deniz (2022) versiyonlarına ait tanımlama kılavuzları temel alınmıştır (EUNIS, 2024).

Habitat haritalarının oluşturulması sürecinde coğrafi bilgi sistemi tabanlı analizlerden yararlanılmış ve tüm mekânsal değerlendirmeler "ArcGIS ArcMap 10.8.2" yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. EUNIS habitat haritalarının hazırlanmasında temel veri kaynakları olarak CORINE Arazi Örtüsü veri tabanı ile orman meşcere haritaları kullanılmıştır. Çalışma alanı içerisinde yer alan orman meşcere tipleri ve CORINE arazi örtüsü sınıf kodlarının EUNIS habitat sınıflarıyla eşleştirilmesi sürecinde, Davies vd. (2004) tarafından revize edilen EUNIS Habitat Sınıflandırma Kılavuzu esas alınmıştır. Sınıflandırma işlemlerinde, başlangıç noktası ve habitatın ekolojik özelliklerine bağlı olarak en uygun sınıflandırma rotalarının belirlenmesine olanak sağlayan kriter diyagramlarından yararlanılmıştır.

Ayrıca sınıflandırma sisteminde kullanılan terminolojinin doğru yorumlanabilmesi amacıyla, EUNIS web sitesinde yer alan habitat tiplerinin belirlenmesinde belirleme anahtarı, kaynakça ve terimler sözlüğünden de yararlanılmıştır (Davies vd., 2004)

Çanakkale İli'nin mevcut orman habitat tipleri arazi gözlem verilerine ve alanla ilgili yapılmış bitki sosyolojisi ve vejatasyon çalışmalarına dayanmakta olup EUNIS habitat listelerinde ve tanımlama kılavuzlarında var olan habitatlar belirlenmiş olup habitat tiplerinin yayılışlarını gösteren EUNIS habitat haritası oluşturulmuştur. Hazırlanan harita ve çıktıları sonuçlar bölümünde verilmiştir.

3. Bulgular

Bu çalışmada Çanakkale il sınırları içerisinde bulunan orman habitatları EUNIS habitat sınıflandırma sistemine göre belirlenmiştir. Belirlenen bu habitat tipleri aşağıda hiyerarşik olarak listelenmiş olup her biri detaylı olarak açıklanmıştır. Belirlenen habitat tiplerine ait yayılış haritaları ve arazi fotoğrafları, habitatların coğrafi dağılımı ile sahadaki mevcut çevresel koşullarını ve karakteristik özelliklerini de aşağıda sunulmuştur.

T-Orman ve diğer ormanlık alanlar

T1 Yaprak döken geniş yapraklı ormanlar

T19 Ilıman ve sub-Akdeniz ısı seven yaprak döken ormanlar

T3332 Truva Göknar (*Abies nordmanniana subsp. equi-trojani)* ormanları

T3674 Anadolu Karaçamı (*Anatolian Pallas' pine* forests) Ormanları

T3A5 Kızılçam (*Pinus brutia Ten.)* ormanları

T3M2 Egzotik çam plantasyonları

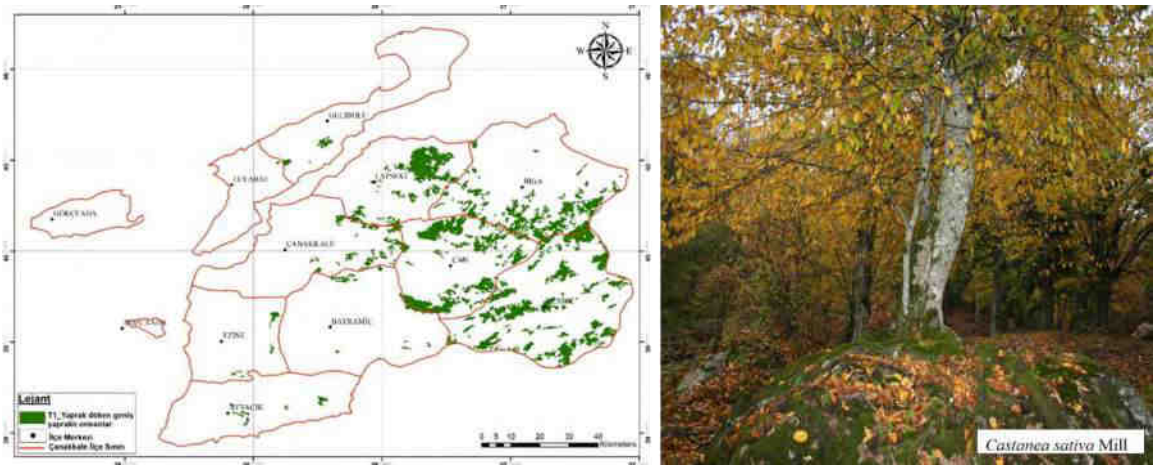
T3N2 Yerli çam plantasyonları

T-Orman ve diğer ormanlık alanlar

Baskın vejetasyonu, en az %10 tepe örtüsü kapalılığına sahip ağaçlardan oluşan veya çok yakın zamana kadar bu özelliği taşıyan alanları ifade etmektedir. Beş yıl içerisinde yeniden ormanlaşması beklenen geçici olarak ağaçsız kalmış alanlar bu kapsama dahil edilirken, ağırlıklı olarak tarımsal veya kentsel kullanım altında bulunan alanlar kapsam dışında tutulmaktadır. Bu habitat tipi kapsamında *Alnus* ve *Populus* bataklık ormanları ile nehir kenarı *Salix* ormanları da yer almaktadır. Buna karşın, *Corylus avellana* çalılıkları ile *Salix* ve *Frangula* carr toplulukları dahil edilmemektedir.

T1 Yaprak döken geniş yapraklı ormanlar

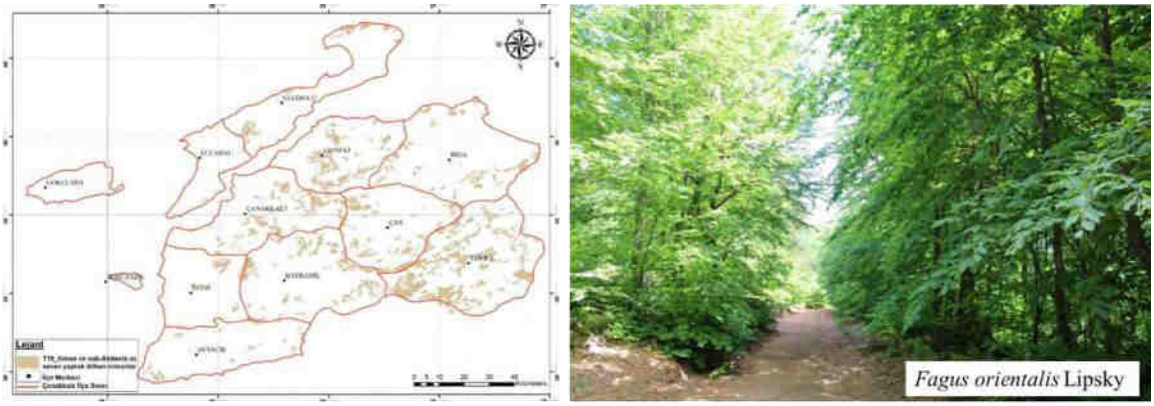
Çalışma alanında yayılış gösteren başlıca ağaç türleri arasında *Quercus frainetto* Ten., *Quercus cerris* L., *Fagus orientalis* Lipsky, *Fagus sylvatica* L., *Carpinus betulus* L., *Castanea sativa* Mill., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. ve *Quercus hartwissiana* Steven yer almaktadır.



Şekil 3.1 Çanakkale-Ağıdağı T1 EUNIS habitat tipini gösteren yayılış haritası (orijinal) ve arazi fotoğrafı, (Önder, 2014)

T19 Ilıman ve sub-Akdeniz ısı seven yaprak döken ormanlar

Bu habitat tipinde karakteristik orman ağaçları *Fagus orientalis* Lipsky, *Fagus sylvatica* L., *Quercus frainetto* Ten., *Quercus cerris* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L., *Castanea sativa* Mill., *Carpinus betulus* L., *Carpinus orientalis* Mill.' dir.

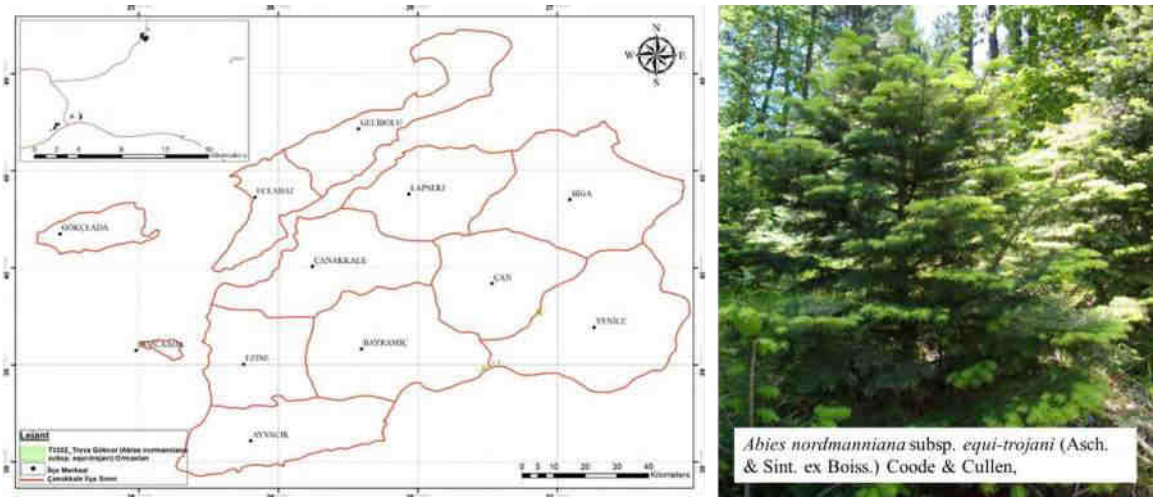


Şekil 3.2. Çanakkale-Lapseki (Dumanlı) T19 EUNIS habitat tipini gösteren yayılış haritası (orijinal) ve arazi fotoğrafı, (Orijinal)

T3332 Truva Göknar (*Abies nordmanniana* subsp. *equi-trojani* (Asch. & Sint. ex. Boiss.) Coode & Cullen) Ormanları

Abies nordmanniana subsp. *equi-trojani* (Asch. & Sint. ex Boiss.) Coode & Cullen, önceki çalışmalarda yalnızca Kaz Dağları ile sınırlı bir yayılışa sahip endemik bir takson olarak değerlendirilmekteyken, daha sonraki taksonomik revizyonlar sonucunda *Abies*

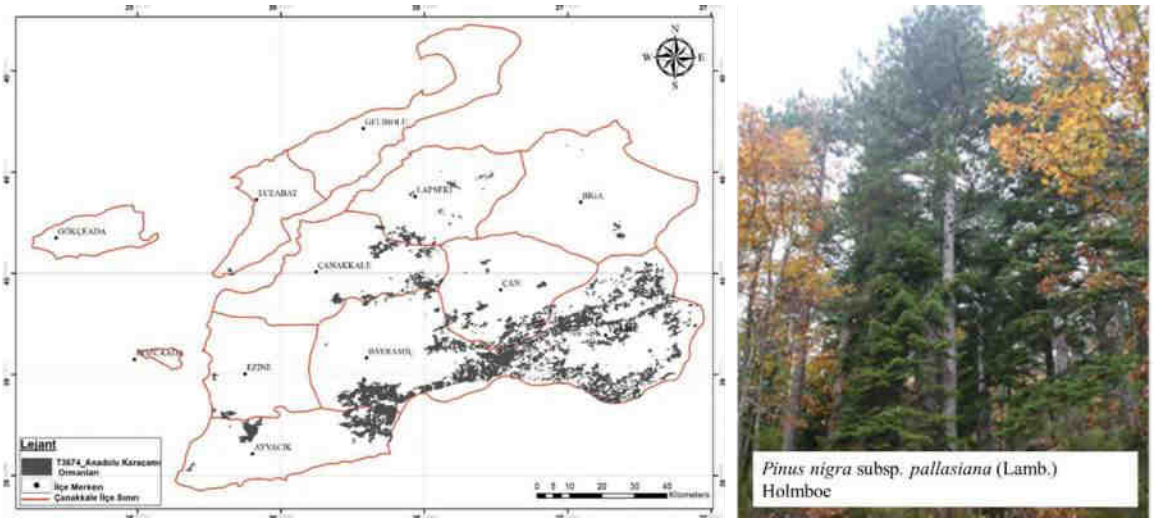
nordmanniana subsp. *bornmuelleriana* Coode & Cullen ile sinonim kabul edilmesiyle birlikte türün bilinen yayılış alanı önemli ölçüde genişlemiştir.



Şekil 3.3. Çanakkale T3332 EUNIS habitat tipini gösteren yayılış haritası (orijinal) ve arazi fotoğrafı, (Önder, 2018)

T3674 Anadolu Karaçamı (Anatolian Pallas' pine forests) Ormanları

Bu takson, özellikle Bayramiç ve Yenice yörelerinde 500–1400 m yükseltiler arasında yoğunlaşmakta olup, Çan ve Biga çevrelerinde ise yayılışı yer yer 90 m seviyelerine kadar inebilmektedir.

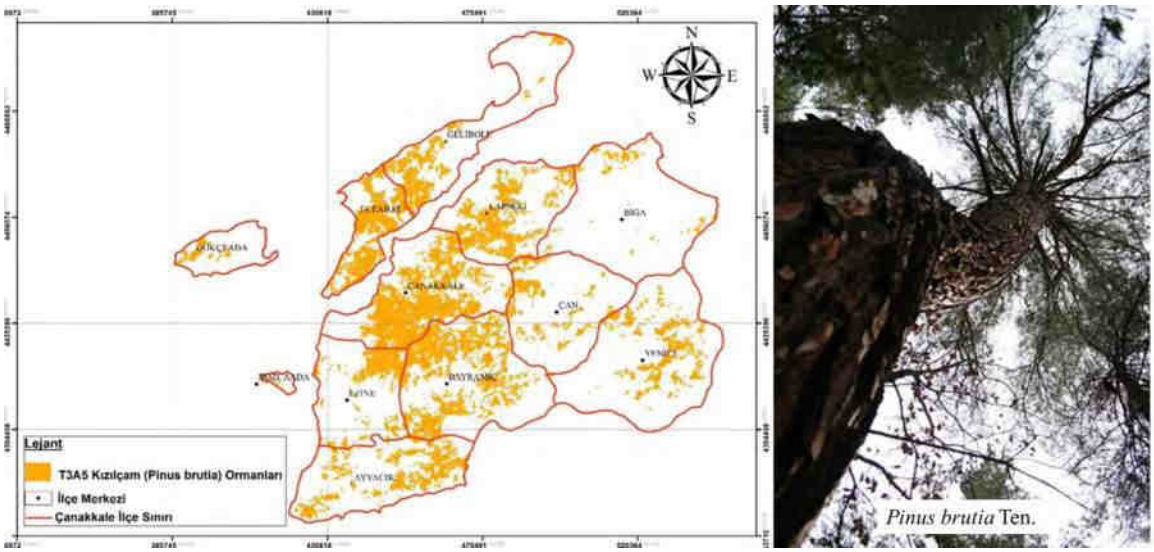


Şekil 3.4. Çanakkale (Ağıdağı) EUNIS T3674 habitat tipini gösteren yayılış haritası (orijinal) ve arazi fotoğrafı, (Önder, 2015)

T3A5 Kızılçam (*Pinus brutia Ten.)* ormanları

İlde en yaygın orman topluluklarını, doğal veya ağaçlandırma yoluyla oluşmuş kızılçam (*Pinus brutia*) ormanları oluşturmaktadır. Düşük rakımlarda kızılçamlar daha seyrek ve dağınık bir taç yapısı sergilerken, yükselti arttıkça daha düzgün ve piramidal formlu bireyler hâkim hale gelmektedir. Koru Dağı bölgesinde gerçekleştirilen ağaçlandırma

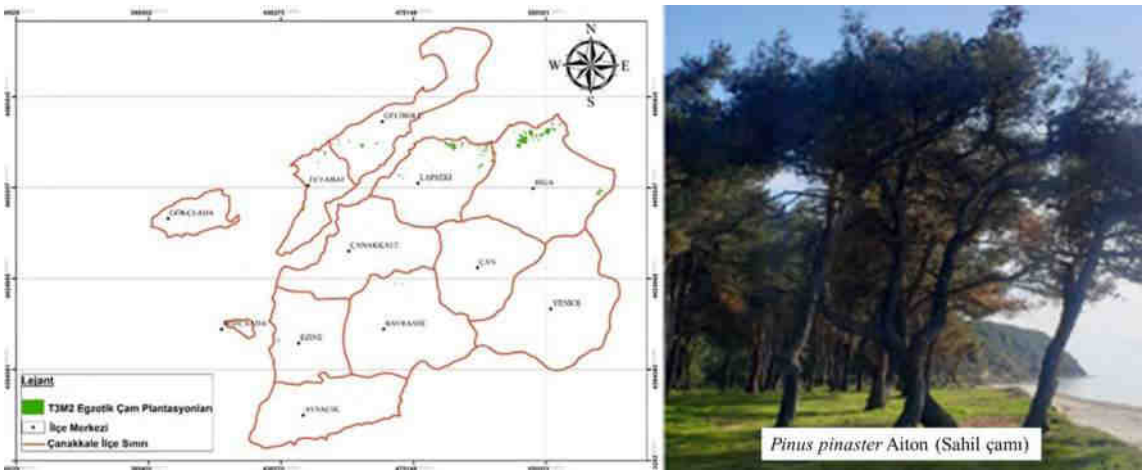
çalışmalarında ise kızılçam ile birlikte Elder çamı (*Pinus brutia* var. *elderica* (Medw.) Silba) da yer almaktadır.



Şekil 3.5. Çanakkale EUNIS T3A5 habitat tipinin yayılış haritası (orijinal) ve arazi fotoğrafı, (Önder, 2014)

T3M2 Egzotik çam plantasyonları

Pinus cinsine ait Palaearktik (Avrupa ve Asya'nın büyük bölümünü kapsayan biyocoğrafik bölge) türlerden oluşan kozalaklı ağaç plantasyonlarını kapsamaktadır. İlde bu habitat tipine örnek olarak *Pinus pinaster* Aiton (Sahil çamı) plantasyonları bulunmaktadır.



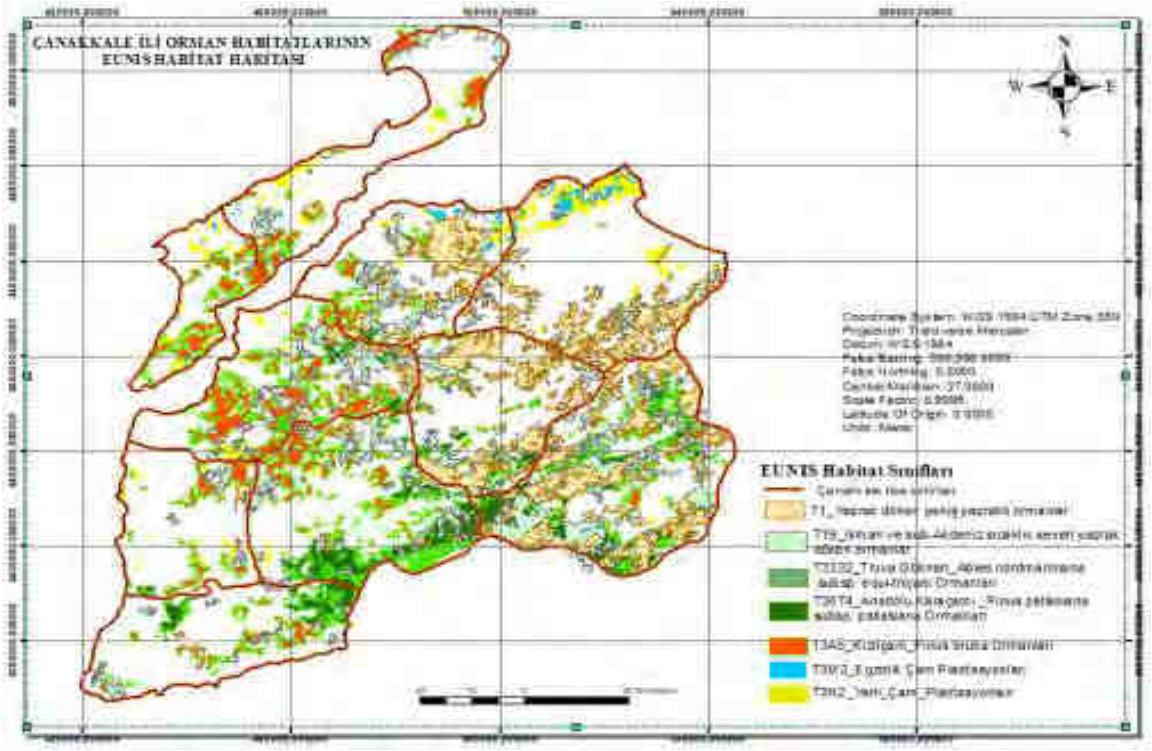
Şekil 3.6. Çanakkale-Ezine EUNIS T3M2 habitat tipini gösteren yayılış haritası (orijinal) ve arazi fotoğrafı, (Küçüksöylemez, 2023)

T3N2 Yerli çam plantasyonları

İlde bu habitat tipinde kullanılan başlıca doğal ağaç türleri *Pinus nigra* J.F.Arnold subsp. *nigra*, *Pinus brutia* Ten. ve *Pinus pinea* L.'dir.

Şekil 3.7. Çanakkale EUNIS T3N2 habitat tipinin yayılış haritası (orijinal) ve arazi fotoğrafı (Ezine, 2023)

Bu çalışmada, Çanakkale il sınırları içerisinde bulunan karasal ekosistemlerin içerisinde bulunan orman habitatları, EUNIS habitat sınıflandırma sistemine göre T (Orman ve diğer ormanlık alanlar) ana habitat tipinde değerlendirilmiştir. Buna bağlı olarak da 7 adet alt habitat tipi belirlenmiş olup bunlarda da bazı kategorilerde 5. seviyeye kadar inilmiştir. Habitatların seviyelere dağılımları şu şekildedir; 1.seviye: -,2.seviye: T1, 3.seviye: T19, 4.seviye: T3A5, T3M2, T3N2 ve 5.seviye: T3332, T3674' tür. Çanakkale İli'nde EUNIS'e göre belirlenen orman habitatlarının ArcGIS veri tabanına yüklenmesi ile oluşturulan habitat sınıfları haritası aşağıda verilmiştir (Şekil 4.2).

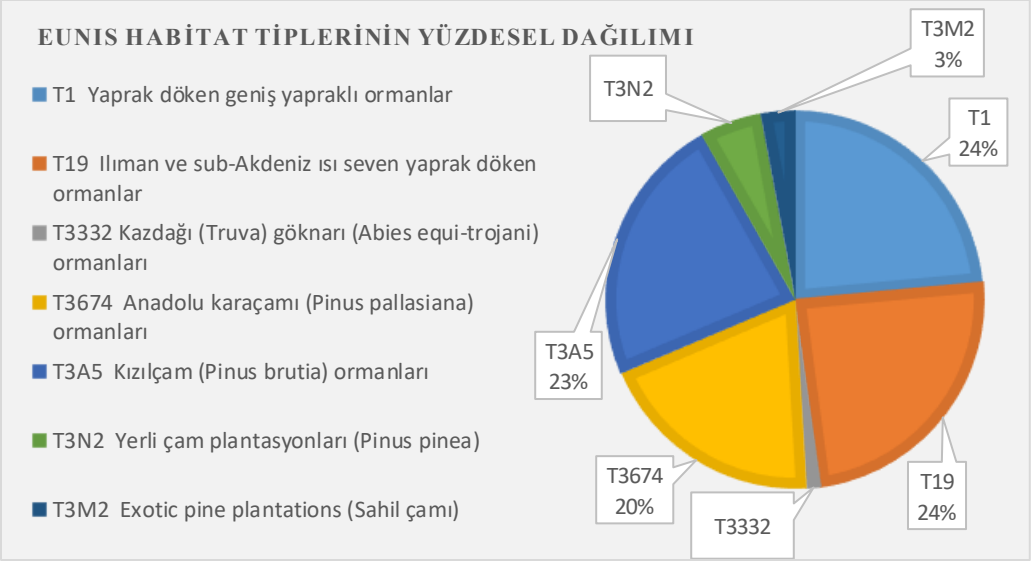


Şekil 4.2. Çanakkale İli orman ekosistemlerine ait EUNIS habitat tipleri ArcMAP haritası (Orijinal)

Tablo 4.1. Çanakkale İli'nin EUNIS habitat tiplerine ait alan ve yüzde değerleri

EUNIS Habıitat Kodu (2012)	EUNIS Habıitat Kodu (2021)	EUNIS Habitat Kodlarının İsimleri	Alan (ha.)	%
(G1)	T1	Yaprak döken geniş yapraklı ormanlar	121923.98	13.41
(G4.B)	T19	Ilıman ve sub-Akdeniz ısı seven yaprak döken ormanlar	126123.02	13.87
(G3.182)	T3332	Kazdağı (Truva) göknarı (*Abies equi-trojani*) ormanları	6152.46	0.67
(G3.5)	T3674	Anadolu karaçamı (*Pinus pallasiana*) ormanları	101242.12	11.13
(G3.75)	T3A5	Kızılçam (*Pinus brutia*) ormanları	120495.94	13.25
(G3.F12)	T3N2	Yerli çam plantasyonları (*Pinus pinea*)	27177.15	2.99
(G3.72)	T3M2	Exotic pine plantations (*Sahil çamı*)	15018.89	1.65
TOPLAM			**518133.56**	**56.98**

2022 yılı itibarıyla Türkiye'nin toplam orman alanı 23.245.000 hektar (%29) olarak belirlenmiştir (Anonim, 2022). Buna karşılık, Çanakkale Orman Bölge Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Şube Müdürlüğü verilerine (2024) göre, Çanakkale İli'nin toplam orman varlığı 522.492 hektar olup, bu değer Türkiye genelindeki toplam orman alanının yaklaşık %2,25'ine karşılık gelmektedir. Bu durum, Çanakkale'nin ülke genelindeki orman varlığı açısından önemli bir paya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Nitekim çalışma alanında değerlendirilen T (Ormanlar) habitat tipinin yani T1, T19, T3332, T3674, T3A5, T3M2 ve T3N2 alt habitat tiplerini içeren bu sınıf, 518.133,56 ha alan büyüklüğü ile çalışma alanının %56,98'ini oluşturarak en yüksek alansal değere sahip habitat tipi olarak öne çıkmaktadır. Çanakkale il geneline ait toplam orman alanı ile çalışma kapsamında belirlenen T habitat tipi alanı arasında bir fark ortaya çıkmaktadır. Bu farkın sebebi; Bozcaada ve Gökçeada'da bulunan orman ekosistemlerinin ada ekosistemlerine özgü sınırlı yayılış göstermeleri ve çalışma kapsamında esas alınan veri setleri ile habitat haritalama ölçeğinde yeterli temsil edilememeleri nedeniyle analiz kapsamına alınmamıştır (Tablo 4.1).



Şekil 4.3. Çalışma alanındaki orman ekosistemlerinin EUNIS habitat tiplerinin alan yüzdeleri

Grafikte (Şekil 4.3) çalışma alanında belirlenen T (Ormanlar) habitat tiplerinin yüzdesel dağılımı görülmektedir. Elde edilen veriler, çalışma alanındaki orman habitatlarının büyük ölçüde doğal geniş yapraklı ve kızılçam ormanlarından oluştuğunu ortaya koymaktadır. En yüksek payı %24 ile T1 (Yaprak döken geniş yapraklı ormanlar) ve yine %24 ile T19 (Ilıman ve sub-Akdeniz ısı seven yaprak döken ormanlar) habitat tipleri oluşturmaktadır. Bu durum, çalışma alanında hem nemcil yaprak döken orman formasyonlarının hem de Akdeniz ikliminin etkisi altında gelişen termofilik orman topluluklarının geniş yayılış gösterdiğini göstermektedir. Bunu takiben %23'lük oran ile T3A5 (*Pinus brutia*-Kızılçam ormanları) habitat tipi dikkat çekmektedir. Kızılçam ormanlarının yüksek temsil oranı, Çanakkale'nin özellikle kıyı ve düşük yükseltili kesimlerinde Akdeniz iklim koşullarının belirgin etkisini yansıtmaktadır. Benzer şekilde %20'lik paya sahip olan T3674 (*Pinus pallasiana*-Anadolu karaçamı ormanları), çalışma alanında karaçam topluluklarının da önemli bir yayılışa sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, yükselti ve bakı farklılıklarına bağlı olarak çalışma alanında ekolojik çeşitliliğin arttığını göstermektedir.

Grafikte düşük oranlarla temsil edilen habitat tipleri ise daha sınırlı yayılışa sahip özel orman topluluklarını ifade etmektedir. T3N2 (*Pinus pinea*-Yerli çam plantasyonları) habitat tipi %5'lik bir paya sahipken, T3M2 (Egzotik çam plantasyonları/Sahil çamı) %3 oranında temsil edilmektedir. Bu sonuçlar, çalışma alanında doğal orman ekosistemlerinin plantasyon alanlarına göre daha baskın olduğunu göstermektedir.

Öte yandan yalnızca %1'lik paya sahip olan T3332 (Kazdağı göknarı – Abies equi-trojani ormanları), habitatın endemik ve sınırlı yayılış gösteren bir orman topluluğu olmasıyla ilişkilendirilebilir. Bu durum aynı zamanda Kazdağı çevresindeki özgün ekolojik koşulların çalışma alanındaki biyolojik çeşitlilik açısından önemini ortaya koymaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, grafik çalışma alanındaki orman habitatlarının hem Akdeniz hem de geçiş zonu karakteri taşıyan farklı orman ekosistemlerini barındırdığını göstermekte; doğal orman topluluklarının çalışma alanındaki baskınlığını açık biçimde ortaya koymaktadır.

4. Tartışma

Çanakkale, orman ve deniz ekosistemlerini bir arada barındırması nedeniyle biyolojik çeşitlilik açısından önemli bir alan olup, farklı ekosistemlerin kısa mesafelerde iç içe bulunması, habitat çeşitliliğini artırarak hassas türler için uygun yaşam alanları oluşturmaktadır. Bununla birlikte çalışma alanındaki habitatlar, orman yangınları, madencilik faaliyetleri, enerji yatırımları (termik santral ve rüzgâr enerji santralleri vb.), tarım alanlarının genişlemesi, ormanlık alanların zeytinliklere dönüştürülmesi ve rekreasyonel faaliyetler gibi doğal ve antropojenik baskılar altında kalmaktadır.

Bu faaliyetler, habitat parçalanması ve vejetasyon yapısının bozulmasına neden olarak biyolojik çeşitliliği ve ekosistem hizmetlerini olumsuz etkilemektedir. Ulaşım altyapıları ile arazi kullanımındaki değişimler bu süreci hızlandırırken, habitat kaybı, ekosistem bozulmaları ve küresel iklim değişikliği çalışma alanındaki türler için önemli tehditler oluşturmaktadır (Dolman, 2000; Reaka-Kudla ve ark., 1996).

Bu nedenle habitatlardaki zamansal değişimlerin izlenmesi ve değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Uzaktan algılama ve habitat haritalama teknikleriyle farklı dönemlerde üretilen habitat haritalarının karşılaştırılması, habitatlarda meydana gelen değişimlerin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Böylece habitat izleme çalışmaları, biyolojik çeşitliliğin korunması ve doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi açısından önemli bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

Avrupa Birliği tarafından geliştirilen EUNIS, doğal ve yarı doğal habitatların tanımlanması, sınıflandırılması ve izlenmesi amacıyla bir habitat sınıflandırma sistemi olup (Moss and Roy, 1998), Türkiye'nin habitat çeşitliliği ve ekolojik özellikleri EUNIS sisteminin doğrudan uygulanmasında bazı sınırlılıklar oluşturmaktadır. Bu sınırlılıkların başında Avrupa'nın büyük bölümü ılıman iklim özellikleri göstermesine karşın Türkiye'de Akdeniz, Karadeniz, karasal ve yarı kurak iklim tipleri birlikte görülmektedir. Bu durum, Türkiye'deki habitat ve bitki çeşitliliğinin Avrupa'dan farklılaşmasına neden olmakta; yüksek endemizm oranı nedeniyle bazı habitat tipleri EUNIS sistemi içinde yeterince temsil edilememektedir.

Türkiye'deki çevre ve doğa koruma mevzuatının Avrupa Birliği standartlarından farklılık göstermesi de EUNIS sisteminin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Diğer bir önemli sorun ise farklı disiplinler arasında yeterli iş birliği ve ortak bir sınıflandırma yaklaşımının bulunmamasıdır. Coğrafyacılar, ormancılar, biyologlar ve koruma uzmanları farklı yöntemler kullanarak çalışmalar yürütmekte, bu durum habitat sınıflandırmalarında uyumsuzluklara neden olmaktadır. Sonuç olarak, Türkiye genelinde tüm habitat tiplerini kapsayan ve yaygın olarak kabul gören ortak bir habitat sınıflandırma sistemi henüz tam anlamıyla oluşturulamamıştır.

Çalışma kapsamında, Türkiye'de ilk kez bir ilin tamamını kapsayacak şekilde EUNIS uyumlu orman habitat tipleri sınıflandırılmış ve haritalandırılmıştır. Bu yönüyle çalışma, ulusal ölçekte özgün bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Elde edilen EUNIS habitat haritası, Çanakkale ilindeki orman habitatlarının dağılımını ayrıntılı ve bütüncül bir şekilde ortaya koymaktadır. Harita, ilin farklı coğrafi ve ekolojik özelliklerini dikkate alarak oluşturulmuş olup, bölgedeki doğal yapı hakkında güncel ve kapsamlı bir veri seti sunmaktadır.

Çalışma, Çanakkale'nin doğal kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir yönetimi için önemli bir altlık oluşturmaktadır. Hazırlanan habitat haritası; çevre düzeni planları, master planlar, arazi kullanım planlaması, orman yönetim planları ve diğer planlama çalışmalarında karar vericilere rehberlik edebilecek niteliktedir.

Kaynaklar

Avcı, M., 1993. Türkiye'nin flora bölgeleri ve "Anadolu Diagonali" ne coğrafi bir yaklaşım. Türk Coğrafya Dergisi, (28), 225-248.

Biyoçeşitlilik Sözleşmesi, (1996), Kültür ve Turizm Bakanlığı Bilgi Sistemleri Daire Başkanlığı, Resmi Gazete. Sayı: 22860, Erişim: 9 Mart 2021, https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/22860.pdf

Çakmak, M. H., ve Aytaç, Z. (2021). EUNIS habitat sınıflandırmasının Türkiye durum değerlendirmesi. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 5(2), 157-163. Erişim: 2 Şubat 2021, https://doi.org/10.30516/bilgesci.888297

ÇED Raporu (2022). Çanakkale İli 2022 yılı çevre durum raporu, Erişim: 12.04.2022, https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/canakkale_-cdr2022-20231101091000.pdf

Davies, C. E., Moss, D. and Hill, M. O. (2004). EUNIS habitat classification revised 2004. Report to the European Environment Agency, European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity (ETC/BE). Erişim: 20.04.2021, https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/EUNIS-habitat-classification 1/documentation/EUNIS-2004-report.pdf European Environment Agency (2022). Erişim adresi: https://eunis.eea.europa.eu/index.jsp

Demirayak, F. (2002). "Biyolojik çeşitlilik". Doğa koruma ve sürdürülebilir kalkınma, TÜBİTAK Vizyon 2023 Projesi Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Paneli. Erişim: 21 Ağustos 2022, https://tubitak.gov.tr/sites/default/files/2023-10/EK-14_1.pdf

Demir, O., Kizilirmakli, A., Bozdağ, C. M. ve Cabi, E. (2022). Determination of terrestrial EUNIS habitat types of Mount Ganos (Işıklar), Tekirdağ, Türkiye. Frontiers in Life Sciences and Related Technologies, 3 (2), 69-74, Erişim adresi: https://doi.org/10.51753/flsrt.1109635

Erdoğan, İ. (2016). Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama ile aşağı Kelkit havzası EUNIS habitat tiplerinin tanımlanması ve potansiyel ürün yetiştirme alanlarının tespiti. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

Erten, S. (2004). Uluslararası düzeyde yükselen bir değer olarak biyolojik çeşitlilik. H.Ü. Eğitim Fakültesi Dergisi, 27, Ankara.

Evans, D. (2012). The EUNIS habitats classification - past, present & future. Revista de Investigación Marina, 19(2), 28-29.

Geven, F., Ozdeniz, E., Kurt, L., Bolukbasi, A., Ozbey, B. G., Ozcan, A. U. ve Turan, U. (2016). Habitat classification and evaluation of the Köyceğiz-Dalyan Special Protected Area, Muğla, Turkey. Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali, 27(3), 1-14.

Işık, K. ve Kurt, Y. (2005). "Habitat fragmentasyonu ve biyoçeşitliğe etkileri", Türk Ormancılığında, Uluslararası Süreçte Acilen Eyleme Dönüştürülmesi Gereken Konular, Mevzuat ve Yapılanmaya Yansımaları Sempozyumu, 22-24 Aralık 2005, Antalya, 1-15.

Karaback, E., Esen, O. ve Gürbüz, O. (2019). Çanakkale Florası. (s. 1-14) Erişim adresi: https://www.ogm.gov.tr/sertifikasyon/Canakkale/%C3%87anakkale_Floras%C4%B1_Haziran_2019.pdf

Magurran, A.E., Baillie, S.R., Buckland, S.T., Dick, J.M., Elston, D.A., Scott, E.M., Smith, R.I., Somerfield, P.J. and Watt, A.D. (2010) ‘’Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time”. Trends in Ecology & Evolution, 25, 574-582. Erişim adresi: https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.06.016

Miller-Rushing, A.J. and Weltzin, J. (2009). “Phenology as a tool to link ecology and sustainable decision making in a dynamic environment”. New Phytologist, 184, 743–745, Erişim adresi: https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03083.x

Polgar, C. A., Primack, R. B. (2011). “Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems”. New phytologist, 191 (4), 926-941, Erişim adresi: https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03803.x

Primack, R. B. (2012). Koruma Biyolojisi. Ali Dönmez, Emel Dönmez (çev. ve ed.) Hacettepe Üniversitesi Yayınları: Ankara.

Sayı, Ö. (2013). “Çanakkale ili arazi kullanım ve bitki örtüsü değişiminin uzaktan algılama yardımı ile belirlenmesi”. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.

Sayı Ö., Genç L. (2013). "Çanakkale ili arazi kullanım ve bitki örtüsü değişiminin uzaktan algılama yardımı ile belirlenmesi". Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt:10, Sayı:3, Türkiye.

Sevgi, O. (2016). Habitat terimi ve türevlerinin 22. ve 21. ulusal biyoloji kongrelerinde kullanımının değerlendirilmesi. Amasya Terim Dergisi, 4 (2), 27-53.

UBENİS (2017). Çanakkale ili’nin karasal ve iç su ekosistemleri biyolojik çeşitlilik envanter ve izleme işi sonuç raporu, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, 2.Bölge Müdürlüğü, Çanakkale Şube Müdürlüğü, ss. 423.

G7 ÜLKELERİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ PİYASASI İSTİKRAR PERFORMANSININ SECA YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Orhan ECEMİŞ [1], Rüstem KOCAÖZ[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Sosyal, Beşerî ve İdari Bilimler Temel Alanı, Gaziantep, Türkiye,

Orcid: 0000-0002-8270-0857

[2] Gaziantep Üniversitesi Oğuzeli Meslek Yüksekokulu, Makro İktisat, Para-Banka, Bölgesel İktisat, Enerji Ekonomisi, Gaziantep, Türkiye,

Orcid: 0000-0003-3735-733X

Özet

Bu araştırmada, G7 ülkelerinde yenilenebilir enerji piyasası istikrar performansının SECA yöntemiyle incelenmesi amaçlanmıştır. Yenilenebilir enerji piyasalarında istikrar, yalnızca kurulu kapasite veya yatırım hacmiyle açıklanabilecek tek boyutlu bir yapı değildir. Bu nedenle çalışma, enerji dönüşümünü teknik, finansal, çevresel, kurumsal ve istihdam boyutlarıyla birlikte ele alan çok kriterli bir analiz çerçevesi üzerine kurulmuştur. Analizde ABD, Almanya, Japonya, Kanada, İtalya, Fransa ve İngiltere alternatif olarak belirlenmiştir. Kriter seti ise yenilenebilir enerji kapasitesi, yeşil yatırım hacmi, CO_2 azaltım performansı, sürdürülebilirlik teşvikleri, rekabet gücü sıralaması, hukuk gücü ve yeşil istihdam artışı göstergelerinden oluşturulmuştur. Farklı ölçü birimlerine sahip değişkenlerin karşılaştırılabilir hâle getirilmesi amacıyla öncelikle Z-skor standardizasyonu uygulanmış, ardından negatif ve sıfır değerlerin model sonuçları üzerindeki olası teknik etkilerini azaltmak için pozitif dönüşüm yapılmıştır. Kriter yönleri belirlenirken K1, K2, K3, K4, K6 ve K7 fayda; rekabet gücü sıralamasını temsil eden K5 ise maliyet kriteri olarak ele alınmıştır.

SECA yöntemi, kriter ağırlıkları ile alternatif performans skorlarını eş zamanlı olarak hesaplaması nedeniyle çalışmanın amacına uygun bir yöntemsel çerçeve sunmuştur. Elde edilen bulgular, G7 ülkeleri arasında yenilenebilir enerji piyasası istikrar performansının belirgin biçimde farklılaştığını göstermektedir. $\beta=3$ denge parametresi esas alındığında ABD ilk sırada yer alırken, Kanada ikinci ve İngiltere üçüncü sırada konumlanmıştır. Almanya, Japonya ve Fransa orta grupta yer almış; İtalya ise analiz kapsamında en düşük performans skoruna sahip ülke olmuştur. Kriter ağırlıkları incelendiğinde CO_2 azaltım performansı ve sürdürülebilirlik teşviklerinin öne çıktığı, bunu hukuk gücü, yeşil istihdam artışı ve rekabet gücü göstergelerinin izlediği görülmüştür. Bu sonuçlar, yenilenebilir enerji piyasalarında istikrarın yalnızca kapasite artışına bağlı olmadığını; çevresel performans, kurumsal yapı, teşvik mekanizmaları ve işgücü dönüşümünün birlikte belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırma, G7 ülkelerinin yenilenebilir enerji piyasalarındaki göreli konumlarını bütüncül biçimde inceleyerek enerji ekonomisi, sürdürülebilirlik ve çok kriterli karar verme literatürüne katkı sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji piyasası, piyasa istikrar performansı, G7 ülkeleri, SECA yöntemi, çok kriterli karar verme

1. Giriş

Enerji, ekonomik faaliyetlerin sürekliliğini, üretim maliyetlerini, dış ticaret yapısını ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerini doğrudan etkileyen temel alanlardan biridir. Sanayi üretimi, ulaştırma, dijital altyapı, hanehalkı tüketimi ve hizmetler sektörü gibi birçok ekonomik faaliyet, güvenilir ve öngörülebilir enerji arzına bağlıdır. Enerji piyasalarında yaşanan arz kesintileri, fiyat dalgalanmaları veya politika belirsizlikleri yalnızca enerji sektörünü değil, ekonomik karar alma süreçlerini de etkilemektedir. Bu nedenle enerji piyasalarının istikrarı, günümüzde ekonomik dayanıklılık ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir politika alanı olarak öne çıkmaktadır.

Fosil yakıtlara dayalı enerji yapısı, uzun yıllar boyunca büyüme sürecinin ana girdilerinden biri olmuştur. Ancak bu yapı; fiyat oynaklığı, enerji ithalatına bağımlılık, jeopolitik gerilimler ve karbon emisyonu baskısı nedeniyle giderek daha tartışmalı hâle gelmektedir. G7 ülkelerinde petrol fiyatları ile yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki asimetrik ilişkinin incelenmesi, fosil yakıt piyasalarındaki dalgalanmaların yenilenebilir enerjiye yönelimi etkileyebildiğini göstermektedir (Guo vd., 2021). Bu durum, yenilenebilir enerjinin yalnızca çevresel bir tercih olmadığını, aynı zamanda enerji piyasalarında daha istikrarlı bir yapı oluşturma arayışıyla da ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Yenilenebilir enerjiye geçiş, enerji arzının çeşitlendirilmesi, karbon yoğunluğunun azaltılması ve enerji güvenliğinin güçlendirilmesi açısından önemli bir dönüşüm sürecidir. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi kaynakların enerji sistemindeki payının artması, ülkelerin fosil yakıt bağımlılığını azaltırken enerji arzında daha esnek bir yapı oluşmasına da katkı sağlamaktadır. G7 ülkelerinde enerji güvenliğinin yenilenebilir enerji politikalarıyla birlikte ele alınması, bu kaynakların arz güvenliği açısından tamamlayıcı bir işleve sahip olduğunu göstermektedir (Zong vd., 2018).

Yenilenebilir enerji piyasası istikrarı, yalnızca kurulu kapasite düzeyiyle açıklanabilecek tek boyutlu bir kavram değildir. Bir ülkede yenilenebilir enerji kapasitesinin yüksek olması, o piyasanın finansal, çevresel ve kurumsal yönleriyle güçlü olduğu anlamına gelmeyebilir. Kapasite artışının yatırım sürekliliği, düzenleyici yapı, hukuki güvence, çevresel performans, rekabet koşulları ve yeşil istihdam kapasitesiyle desteklenmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji yatırımı, çevresel düzenlemeler ve finansal gelişmenin enerji geçişindeki rolü, bu piyasaların finansal ve kurumsal altyapıyla birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir (Liu vd., 2023).

G7 ülkeleri, küresel enerji dönüşümünü yönlendirebilecek ekonomik, teknolojik ve kurumsal kapasiteye sahip olmaları nedeniyle bu çalışma açısından uygun bir inceleme alanı sunmaktadır. ABD, Almanya, Japonya, Kanada, İtalya, Fransa ve İngiltere; yüksek gelir düzeyleri, gelişmiş finansal sistemleri, güçlü teknoloji altyapıları ve iklim politikalarındaki yönlendirici rolleriyle öne çıkmaktadır. Bununla birlikte bu ülkeler enerji bileşimleri, yenilenebilir enerjiye geçiş hızları, yeşil yatırım kapasiteleri ve çevresel performansları bakımından farklılaşmaktadır. G7 ülkelerinde enerji güvenliği ve ekonomik karmaşıklığın yenilenebilir enerji gelişimi üzerindeki rolü, bu farklılıkların

yalnızca enerji arzı ile değil, ülkelerin ekonomik yapısıyla da ilişkili olduğunu göstermektedir (Chu, 2023).

Yenilenebilir enerji piyasalarının istikrarı, ekonomik ve politik belirsizliklerden de etkilenmektedir. Uzun vadeli yatırım gerektiren enerji projelerinde politika belirsizliği, yatırım kararlarını geciktirebilmekte ve piyasa aktörlerinin beklentilerini zayıflatabilmektedir. G7 ülkelerinde politika belirsizliğinin yenilenebilir enerji üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar, öngörülebilir politika ortamının enerji dönüşümü açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır (Khan ve Su, 2022). Ekonomi politikası belirsizliği ile yenilenebilir enerji yatırımları arasındaki ilişkiyi G7 örneğinde ele alan çalışmalar da yatırım kararlarının makroekonomik beklentilerden etkilendiğini göstermektedir (Doğan vd., 2023).

Jeopolitik riskler ve küresel enerji belirsizliği, yenilenebilir enerji piyasalarının istikrarını etkileyen diğer önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Enerji arz zincirlerinde yaşanan kırılmalar, uluslararası gerilimler ve enerji fiyatlarındaki sert hareketler, ülkeleri daha güvenli ve yerli kaynaklara dayalı enerji yapıları kurmaya yöneltebilmektedir. G7 ekonomilerinde enerji belirsizliği, jeopolitik çatışma ve militarizasyonun enerji gelişimi üzerindeki etkilerini inceleyen bulgular, yenilenebilir enerji piyasalarının yalnızca ekonomik göstergeler üzerinden açıklanamayacağını göstermektedir (Yasmeen ve Shah, 2024).

Bu çalışmada yenilenebilir enerji piyasası istikrar performansı teknik, finansal, çevresel, kurumsal, rekabetçi ve sosyal göstergeler üzerinden ele alınmaktadır. Yenilenebilir enerji kapasitesi piyasanın teknik büyüklüğünü, yeşil yatırım hacmi finansman desteğini, CO_2 azaltım performansı çevresel etkinliği, sürdürülebilirlik teşvikleri politika desteğini, rekabet gücü piyasa yapısını, hukuk gücü kurumsal güvenceyi ve yeşil istihdam artışı dönüşümün sosyal boyutunu temsil etmektedir. Enerji geçişini G7 ülkeleri açısından makroekonomik faktörlerle birlikte ele alan çalışmalar, yenilenebilir enerji piyasalarının daha geniş bir ekonomik ve kurumsal çerçevede değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Rajendran vd., 2023).

Çalışmada G7 ülkelerinin yenilenebilir enerji piyasası istikrar performanslarının belirlenmesinde SECA yöntemi kullanılmaktadır. SECA yöntemi, kriter ağırlıkları ile alternatif performans skorlarını eş zamanlı olarak hesaplayan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Keshavarz-Ghorabaee vd. (2018) tarafından geliştirilen bu yöntem, karar matrisindeki bilgi yapısını dikkate alarak kriterlerin nesnel ağırlıklarını ve alternatiflerin performans düzeylerini aynı model içinde belirlemektedir. Bu yönüyle SECA, yenilenebilir enerji piyasası gibi çok boyutlu karar problemlerinin incelenmesi için uygun bir yöntemsel çerçeve sunmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, G7 ülkelerinin yenilenebilir enerji piyasası istikrar performanslarını karşılaştırmalı olarak incelemektir. Bu kapsamda ABD, Almanya, Japonya, Kanada, İtalya, Fransa ve İngiltere alternatif olarak ele alınmakta; yenilenebilir enerji kapasitesi, yeşil yatırım hacmi, CO_2 azaltım performansı, sürdürülebilirlik teşvikleri, rekabet gücü sıralaması, hukuk gücü ve yeşil istihdam artışı karar kriterleri olarak kullanılmaktadır. Çalışma, yenilenebilir enerji piyasası istikrarını yalnızca kapasite ya da yatırım büyüklüğüyle sınırlamamakta; teknik, finansal, çevresel, kurumsal,

rekabetçi ve sosyal göstergeleri birlikte içeren bütüncül bir performans çerçevesi sunmaktadır.

2. Literatür Taraması

Yenilenebilir enerji literatürü, son yıllarda ekonomik büyüme, enerji güvenliği, finansal gelişme, politika belirsizliği, jeopolitik risk, çevresel sürdürülebilirlik ve çok kriterli karar verme yöntemleri etrafında genişlemektedir. G7 ülkelerine yönelik araştırmalar, bu ülke grubunun gelişmiş ekonomik yapısı, yüksek enerji talebi, teknoloji üretme kapasitesi ve iklim politikalarındaki belirleyici rolü nedeniyle ayrı bir önem taşımaktadır. Mevcut çalışmalar, yenilenebilir enerji dönüşümünün yalnızca üretim kapasitesiyle açıklanamayacağını; ekonomik, finansal, politik, çevresel ve kurumsal faktörlerle birlikte incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

Yenilenebilir enerji ile ekonomik büyüme ilişkisi, G7 ülkeleri bağlamında sıkça ele alınan konulardan biridir. Okumus vd. (2021), G7 ülkelerinde yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi CS-ARDL yaklaşımıyla analiz etmiştir. Çalışmada, enerji tüketim bileşiminin büyüme dinamikleri açısından dikkate alınması gereken bir unsur olduğu ortaya konulmuştur. Rahman ve Sarkandiz (2023), G7 ülkelerinde yenilenebilir enerji tüketimini dinamik panel yaklaşımıyla incelemiş ve yenilenebilir enerji kullanımının ülke grubu içinde zamanla değişen bir yapı gösterdiğini belirtmiştir. Khan vd. (2022), G7 ve E7 ülkelerinde yenilenebilir enerji kullanımının yük kapasitesi faktörü üzerindeki etkilerini karşılaştırmış ve sonuçların gelişmişlik düzeyine göre farklılaşabileceğini ifade etmiştir.

Enerji güvenliği, yenilenebilir enerji piyasalarının istikrarı açısından öne çıkan temel başlıklardan biridir. Zong vd. (2018), G7 ülkelerinde enerji güvenliğini yenilenebilir enerji politikaları bağlamında nicel bir yaklaşımla ele almıştır. Çalışma, yenilenebilir enerji politikalarının enerji güvenliği hedefleriyle birlikte düşünülmesi gerektiğini göstermektedir. Chu (2023), enerji güvenliği ve ekonomik karmaşıklığın G7 ülkelerinde yenilenebilir enerji gelişimi üzerindeki rolünü araştırmıştır. Bulgular, yenilenebilir enerji dönüşümünün yalnızca enerji arzıyla değil, ekonomik yapının karmaşıklığıyla da ilişkili olduğunu göstermektedir. Tugcu ve Menegaki (2023), yenilenebilir enerji üretiminin enerji güvenliği üzerindeki etkisini incelemiş ve yenilenebilir üretimin arz güvenliği bakımından önemli bir işleve sahip olduğunu belirtmiştir.

Yenilenebilir enerji yatırımları, teknolojik gelişme ve karbon azaltımı G7 ülkeleri üzerine yapılan çalışmalarda geniş yer bulmaktadır. Erdoğan vd. (2023), G7 ülkelerinde yenilenebilir enerji yatırımları ve teknolojilerinin karbon nötr dünya hedefi açısından rolünü değerlendirmiştir. Çalışmada, yenilenebilir enerji yatırımlarının ve teknolojik gelişmelerin karbon azaltımı sürecinde belirleyici olduğu vurgulanmıştır. Liu vd. (2023), yenilenebilir enerji yatırımı, çevresel düzenlemeler ve finansal gelişmenin G7 ülkelerinde yenilenebilir enerji geçişini destekleyen temel unsurlar olduğunu ortaya koymuştur. Irfan vd. (2023), G7 ve E7 ülkelerinde yenilenebilir enerji dönüşümünü finansal gelişme ve mineral piyasaları üzerinden değerlendirmiştir. Bu çalışmalar, yenilenebilir enerji geçişinin yatırım hacmi, finansal gelişmişlik, çevresel düzenleme ve kaynak piyasalarıyla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Politika belirsizliği ve makroekonomik oynaklık, yenilenebilir enerji piyasalarının gelişimini etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Khan ve Su (2022), G7

ülkelerinde politika belirsizliğinin yenilenebilir enerji üzerindeki etkisini incelemiş ve belirsizliklerin yenilenebilir enerji gelişimi üzerinde baskı oluşturabileceğini göstermiştir. Su vd. (2022), teknolojik yenilik ve ekonomik belirsizlik bağlamında yenilenebilir enerji gelişimini analiz etmiş ve yenilik kapasitesinin belirsizlik ortamında yenilenebilir enerji açısından önemli olduğunu belirtmiştir. Pata vd. (2023), G7 ülkelerinde yenilenebilir enerji yatırımlarının gelir düzeyi, ekonomik politika belirsizliği, jeopolitik risk ve kentleşme gibi değişkenlerden etkilendiğini göstermiştir. Bu bulgu, yenilenebilir enerji yatırımlarının daha geniş makroekonomik ve politik koşullarla bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Enerji politikası belirsizliği ve politika dalgalanmaları da yenilenebilir enerji piyasaları üzerinde belirleyici olabilmektedir. Dai vd. (2024), G7 ekonomilerinde enerji politikası belirsizliğinin fosil yakıt ve yenilenebilir enerji tüketimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada, enerji politikası alanındaki belirsizliklerin enerji tüketim tercihlerini etkileyebildiği görülmektedir. Sun vd. (2022), maliye ve para politikası dalgalanmalarının G7 ülkelerinde ayrıştırılmış yenilenebilir enerji üretimi üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Bulgular, yenilenebilir enerji üretiminin yalnızca enerji politikalarından değil, makroekonomik politika ortamından da etkilenebileceğini göstermektedir. Doğan vd. (2023), G7 örneğinde ekonomi politikası belirsizliği ile yenilenebilir enerji yatırımları arasındaki ilişkiyi inceleyerek belirsizlik ortamının yatırım kararları üzerindeki önemini vurgulamıştır.

Jeopolitik riskler ve küresel enerji belirsizliği, yenilenebilir enerji dönüşümünün dışsal kırılganlık boyutunu oluşturmaktadır. Yasmeen ve Shah (2024), enerji belirsizliği, jeopolitik çatışma ve militarizasyonun G7 ekonomilerinde yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji gelişimi açısından önemli olduğunu ortaya koymuştur. Işık vd. (2024), küresel enerji belirsizliğinin oynaklığını yenilenebilir alternatifler bağlamında incelemiştir. Çalışma, enerji belirsizliğinin arttığı dönemlerde yenilenebilir kaynakların stratejik öneminin daha görünür hâle geldiğini göstermektedir. Xi vd. (2025), G7 ekonomilerinde jeopolitik risk ve politik istikrarın yenilenebilir enerji geçişi üzerindeki teknolojiye özgü etkilerini araştırmıştır. Bu sonuç, yenilenebilir enerji geçişinin ekonomik koşullar kadar politik ve jeopolitik ortamdan da etkilendiğini göstermektedir.

Fosil yakıt piyasalarındaki fiyat hareketleri de yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde etkili olabilmektedir. Guo vd. (2021), G7 ülkelerinde petrol fiyatları ile yenilenebilir enerji tüketimi arasındaki asimetrik ilişkiyi incelemiştir. Çalışma, petrol fiyatlarındaki değişimlerin yenilenebilir enerji tüketimi üzerinde farklı yönlerde etkiler oluşturabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, yenilenebilir enerji piyasası istikrarının fosil yakıt piyasalarındaki fiyat hareketlerinden bağımsız biçimde değerlendirilemeyeceğini göstermektedir.

Finansal istikrar, finansal gelişme ve çevresel sürdürülebilirlik ilişkisi G7 ülkeleri açısından önemli bir literatür alanıdır. Safi vd. (2021), finansal istikrar ve yenilenebilir enerjinin G7 ülkelerinde sürdürülebilir çevre üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada gelir düzeyi ve uluslararası ticaretin çevresel sürdürülebilirlik sürecinde rol oynadığı belirtilmektedir. Xu vd. (2022), finansal gelişme, yenilenebilir enerji ve CO_2 emisyonu arasındaki ilişkiyi doğrusal olmayan ve asimetrik bir yaklaşımla ele almıştır. Çalışma, finansal gelişmenin çevresel performans üzerindeki etkisinin doğrusal olmayan bir yapı gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Rajendran vd. (2023), G7 ülkeleri için enerji

geçişini makroekonomik faktörler çerçevesinde kavramsal olarak incelemiş ve enerji dönüşümünün ekonomik yapıdan bağımsız ele alınamayacağını belirtmiştir.

Yenilenebilir enerji alanında çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Alizadeh vd. (2020), yenilenebilir enerji politika planlaması ve karar alma süreçlerinde hibrit çok kriterli karar verme yaklaşımının kullanılabileceğini göstermiştir. Alkan (2023), sürdürülebilir kalkınma ve yenilenebilir enerji sistemlerinin değerlendirilmesinde CRITIC-SWARA-CODAS yöntemlerini aralıklı değerli resim bulanık kümelerle birlikte ele almıştır. Campos-Guzman vd. (2019), yaşam döngüsü analizi ile çok kriterli karar verme yaklaşımlarını birleştirerek yenilenebilir enerji teknolojilerinin sürdürülebilirlik değerlendirmesine odaklanmıştır. Ecer (2021), bataryalı elektrikli araç performansının değerlendirilmesinde bütünleşik birçok kriterli karar verme çerçevesi kullanmıştır. Bu çalışmalar, yenilenebilir enerji alanındaki karar problemlerinin çok boyutlu yapısı nedeniyle ÇKKV yöntemlerine uygun olduğunu göstermektedir.

Yenilenebilir enerji karar problemlerinde çok kriterli yöntemlerin farklı uygulama alanları bulunmaktadır. Kumar vd. (2017), sürdürülebilir yenilenebilir enerji gelişimi için çok kriterli karar verme yöntemlerine ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sunmuştur. Shao vd. (2020), yenilenebilir enerji yer seçimi çalışmalarında çok kriterli karar verme uygulamalarını incelemiştir. Siksnelyte-Butkiene vd. (2020), yenilenebilir enerji teknolojilerinin hanehalkı ölçeğinde değerlendirilmesinde ÇKKV yöntemlerinin kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Saraswat ve Digalwar (2021), Hindistan enerji sektörü için sürdürülebilir enerji alternatiflerini entropi temelli bulanık çok kriterli karar yaklaşımıyla ele almıştır. Moreno-Rocha vd. (2025), Kolombiya'da yenilenebilir enerji kaynaklarının seçimi için çok kriterli ve çok yöntemli bir analiz gerçekleştirmiştir. Sahoo vd. (2025), sürdürülebilir yenilenebilir enerji gelişimine yönelik çok kriterli karar verme çalışmalarını kapsamlı biçimde değerlendirmiştir.

SECA yöntemi, çok kriterli karar verme literatüründe kriter ağırlıkları ile alternatif performanslarını eş zamanlı olarak belirlemesi bakımından farklı bir konuma sahiptir. Keshavarz-Ghorabaee vd. (2018), SECA yöntemini kriterlerin ve alternatiflerin birlikte değerlendirilmesi amacıyla geliştirmiştir. Yöntem, karar matrisindeki kriter içi değişkenliği standart sapma ile, kriterler arası farklılaşmayı ise korelasyon yapısı üzerinden dikkate almaktadır. Assadi vd. (2022), SECA yöntemini İran elektrik sektörü bağlamında yenilenebilir enerji kaynaklarının önceliklendirilmesi amacıyla kullanmıştır. Lak vd. (2024), fotovoltaik enerji santrali yer seçimi için SECA yöntemini kullanarak yöntemin enerji yatırımı kararlarında uygulanabilirliğini ortaya koymuştur. Zhang vd. (2024), güneş hidrojeni üretim tesisi yer seçiminde SECA temelli bir değerlendirme yapmıştır. Bu çalışmalar, SECA yönteminin yenilenebilir enerji ve temiz enerji yatırımlarında farklı karar problemlerine uyarlanabilecek bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Literatür bir bütün olarak değerlendirildiğinde, G7 ülkelerinde yenilenebilir enerji konusunun çoğunlukla büyüme, enerji güvenliği, finansal gelişme, politika belirsizliği ve çevresel sürdürülebilirlik bağlamında ele alındığı görülmektedir. Buna karşılık yenilenebilir enerji piyasalarının istikrarını teknik kapasite, yatırım düzeyi, çevresel performans, kurumsal yapı, rekabet koşulları ve yeşil istihdam gibi farklı boyutları birlikte dikkate alarak inceleyen çalışmaların daha sınırlı olduğu söylenebilir. Bu çalışma, söz konusu boşluktan hareketle G7 ülkelerinin yenilenebilir enerji piyasası istikrar

performansını SECA yöntemiyle karşılaştırmalı biçimde ele almaktadır. Bu yönüyle araştırma, enerji ekonomisi literatürüne çok boyutlu bir piyasa istikrarı çerçevesi sunarken, çok kriterli karar verme literatürüne de SECA yönteminin yenilenebilir enerji piyasası istikrarı alanındaki uygulanabilirliğini gösteren bir katkı sağlamaktadır.

3. Materyal ve Metot

Çalışmada analiz kapsamına G7 ülkeleri olan ABD, Almanya, Japonya, Kanada, İtalya, Fransa ve İngiltere dâhil edilmekte ve yenilenebilir enerji piyasası istikrar performansı yedi kriter üzerinden incelenmektedir. Analizde kullanılan göstergeler, ülkeler arası karşılaştırılabilirliği sağlamak amacıyla 2023 yılı verileri esas alınarak oluşturulmuştur. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kapasitesi (K1), yeşil yatırım hacmi (K2), CO_2 azaltım performansı (K3), sürdürülebilirlik teşvikleri (K4), hukuk gücü (K6) ve yeşil istihdam artışı (K7), yenilenebilir enerji piyasalarının gelişimini ve istikrarını destekleyen unsurlar olarak kabul edilmekte ve fayda yönlü kriterler olarak ele alınmaktadır. Buna karşılık rekabet gücü sıralaması (K5), sıralama verisi niteliği taşıdığı için maliyet yönlü kriter olarak tanımlanmaktadır. Bu kriterde düşük sıra değeri daha yüksek rekabet gücünü ifade ettiğinden, küçük değerler daha olumlu performans göstergesi olarak kabul edilmektedir.

Tablo 1. Değerlendirme Kriterleri, Kriter Türleri ve Veri Kaynakları (2023)

1. riter Kodu	I	2. Gösterge	3. riter Türü	4. Veri Kaynağı
5. 1	I	6. Yenilenebilir Enerji Kapasitesi (MW)	7. ayda	8. IRENA
9. 2	I	10. Yeşil Yatırım Hacmi (Milyar $)	11. ayda	12. IEA / BloombergNEF
13. 3	I	14. CO_2 Azaltım Performansı (%)	15. ayda	16. Our World in Data / World Bank
17. 4	I	18. Sürdürülebilirlik Teşvikleri (Skor)	19. ayda	20. OECD / Dünya Ekonomik Forumu
21. 5	I	22. Rekabet Gücü Sıralaması	23. aliyet	24. IMD / Dünya Ekonomik Forumu
25. 6	I	26. Hukuk Gücü (Puan)	27. ayda	28. World Justice Project / World Bank WGI
29. 7	I	30. Yeşil İstihdam Artışı (%)	31. ayda	32. ILO / OECD

3.1. Z-Skor Standardizasyonu ve Pozitif Dönüşüm

Çalışmada kullanılan göstergeler farklı ölçü birimlerine sahip olduğundan, SECA analizine geçilmeden önce karar matrisi ortak bir ölçeğe dönüştürülmektedir. Bu amaçla ilk aşamada Z-skor standardizasyonu uygulanmaktadır. Z-skor dönüşümü, her bir kriter

değerinin ilgili kriter ortalamasından sapmasını standart sapma cinsinden göstermekte ve değişkenlerin karşılaştırılabilir hâle gelmesini sağlamaktadır.

Standartlaştırılmış karar matrisi elemanları Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$x_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j} \qquad (1)$$

Burada X_{ij} i. alternatifin j. kritere ait başlangıç değerini; $\bar{X}_j$, ilgili kriterin aritmetik ortalamasını; S_j ise standart sapmayı ifade etmektedir.

Z-skor standardizasyonu sonrasında bazı değerlerin negatif veya sıfır olması nedeniyle ikinci aşamada pozitif dönüşüm yapılmaktadır. Bu işlemde her bir kriterdeki minimum değer dikkate alınmakta ve tüm gözlemler pozitif alana taşınmaktadır. Pozitif dönüşüm işlemi Eşitlik (2)'de gösterilmektedir:

$$x'_{ij} = x_{ij} + A, A > |\min(x_{ij})| \qquad (2)$$

Burada x'_{ij}, pozitif dönüşüm sonrası elde edilen değeri; x_{ij}, standartlaştırılmış değeri; A ise tüm gözlemleri pozitif alana taşıyan sabit değeri göstermektedir. Bu işlem sonucunda veri seti hem ölçü birimi farklılıklarından arındırılmakta hem de SECA yöntemi için uygun bir yapıya getirilmektedir.

Bu çalışmada G7 ülkelerinin yenilenebilir enerji piyasası istikrar performanslarının belirlenmesinde SECA yöntemi kullanılmaktadır. SECA yöntemi, Keshavarz-Ghorabaee vd. (2018) tarafından çok kriterli karar verme problemlerinde kriter ağırlıkları ile alternatif performans skorlarının eş zamanlı olarak belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Yöntem, karar matrisi içerisindeki bilgi yapısını dikkate almakta; kriter içi değişkenliği standart sapma, kriterler arası farklılaşmayı ise korelasyon yapısı üzerinden ele almaktadır. Bu yönüyle SECA, alternatifleri nesnel ağırlıklar doğrultusunda sıralayan bütünleşik bir değerlendirme yaklaşımı sunmaktadır.

Birinci aşamada, n adet alternatif ve m adet kriterden oluşan karar matrisi oluşturulmaktadır. Karar matrisi Eşitlik (3)'te gösterilmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{im} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nj} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \qquad (3)$$

Burada x_{ij}, i. alternatifin j. kritere ilişkin performans değerini göstermektedir. SECA yönteminin uygulanabilmesi için karar matrisi değerlerinin pozitif olması gerekmektedir.

İkinci aşamada, karar matrisi normalize edilerek kriterler karşılaştırılabilir hâle getirilmektedir. Normalize karar matrisi Eşitlik (4)'te ifade edilmektedir.

$$X^N = \begin{bmatrix} x_{11}^N & x_{12}^N & \cdots & x_{1j}^N & \cdots & x_{1m}^N \\ x_{21}^N & x_{22}^N & \cdots & x_{2j}^N & \cdots & x_{2m}^N \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1}^N & x_{i2}^N & \cdots & x_{ij}^N & \cdots & x_{im}^N \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^N & x_{n2}^N & \cdots & x_{nj}^N & \cdots & x_{nm}^N \end{bmatrix} \quad (4)$$

Normalize edilmiş değerler, kriterlerin fayda veya maliyet yönlü olmasına göre Eşitlik (5) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$x_{ij}^N = \begin{cases} \dfrac{x_{ij}}{\max\limits_k x_{kj}}, & j \in BC \\ \dfrac{\min\limits_k x_{kj}}{x_{ij}}, & j \in NC \end{cases} \quad (5)$$

Eşitlik (5)'te BC fayda yönlü kriterleri, NC ise maliyet yönlü kriterleri ifade etmektedir.

Üçüncü aşamada, normalize karar matrisi kullanılarak her bir kriter için standart sapma değeri (σ_j) hesaplanmaktadır. Bu değer, ilgili kriterin alternatifler arasında ne ölçüde ayırt edici bilgi taşıdığını göstermektedir.

Dördüncü aşamada, kriterler arasındaki ilişki yapısı dikkate alınmaktadır. Bu kapsamda korelasyon katsayıları kullanılarak her bir kriterin çatışma düzeyi (π_j) hesaplanmaktadır.

$$\pi_j = \sum_{l=1}^{m} (1 - r_{jl}) \quad (6)$$

Eşitlik (6)'da r_{jl}, j. kriter ile l. kriter arasındaki korelasyon katsayısını göstermektedir. Korelasyonun düşük olması, ilgili kriterin diğer kriterlerden farklı bilgi sunduğunu ifade etmektedir.

Beşinci aşamada, kriter içi varyasyon ve kriterler arası çatışma değerleri normalize edilerek kriter ağırlıkları için referans değerler elde edilmektedir. Bu işlem Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) ile gösterilmektedir.

$$\sigma_j^N = \frac{\sigma_j}{\sum_{l=1}^{m} \sigma_l} \quad (7)$$

$$\pi_j^N = \frac{\pi_j}{\sum_{l=1}^{m} \pi_l} \quad (8)$$

Altıncı aşamada, alternatif performansını artıran ve kriter ağırlıklarını referans değerlere yaklaştıran çok amaçlı doğrusal olmayan model kurulmaktadır. Modelin temel yapısı Eşitlik (9.1) – Eşitlik (9.6) arasında verilmektedir.

$$\max S_i = \sum_{j=1}^{m} w_j x_{ij}^N, \forall i \quad (9.1)$$

$$\min \lambda_b = \sum_{j=1}^{m} (w_j - \sigma_j^N)^2 \quad (9.2)$$

$$\min \lambda_c = \sum_{j=1}^{m} (w_j - \pi_j^N)^2 \quad (9.3)$$

$$\sum_{j=1}^{m} w_j = 1 \quad (9.4)$$

$$w_j \leq 1 \quad (9.5)$$

$$w_j > \varepsilon \quad (9.6)$$

Burada w_j, j. kriterin ağırlığını; S_i, i. alternatifin performans skorunu; λ_b ve $\lambda_c$ise ağırlıkların referans değerlerden sapma düzeylerini ifade etmektedir.

Yedinci aşamada, çok amaçlı model tek amaçlı forma dönüştürülmektedir. Bu aşamada alternatif performansının artırılması ile kriter ağırlıklarının referans değerlere yakın tutulması birlikte ele alınmaktadır. Tek amaçlı model Eşitlik (10.1) –Eşitlik (10.8) arasında gösterilmektedir.

$$\max Z = \lambda_a - \beta(\lambda_b + \lambda_c) \quad (10.1)$$

$$\lambda_a \leq S_i \quad (10.2)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} w_j x_{ij}^N \quad (10.3)$$

$$\lambda_b = \sum_{j=1}^{m} (w_j - \sigma_j^N)^2 \quad (10.4)$$

$$\lambda_c = \sum_{j=1}^{m} (w_j - \pi_j^N)^2 \quad (10.5)$$

$$\sum_{j=1}^{m} w_j = 1 \quad (10.6)$$

$$w_j \leq 1 \quad (10.7)$$

$$w_j > \varepsilon \quad (10.8)$$

Eşitliklerde λ_a, alternatifler arasındaki minimum performans düzeyini; β, performans maksimizasyonu ile ağırlık sapmalarının azaltılması arasındaki denge parametresini göstermektedir.

Son aşamada, optimizasyon modeli çözülerek kriter ağırlıkları (w_j), alternatif performans skorları (S_i)ve nihai sıralamalar elde edilmektedir. Böylece G7 ülkelerinin yenilenebilir enerji piyasası istikrar performansları, kriterlerin bilgi içeriği ve ülkelerin göreli performansları birlikte dikkate alınarak karşılaştırılmaktadır.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Z-Skor Standardizasyonu ve Pozitif Dönüşümün Hesaplanması

Tablo 2'de G7 ülkeleri için oluşturulan başlangıç karar matrisi yer almaktadır. Ham veri setinde kriterlerin ölçüm biçimleri birbirinden farklı olduğu için bu değerlerin doğrudan SECA analizine aktarılması uygun değildir. Ayrıca K3 kriterinde negatif değerlerin bulunması, analiz öncesinde veri setinin yeniden ölçeklendirilmesini gerekli hâle getirmektedir.

Tablo 2 Karar Matrisi

33. Alternatif (Ülke)	**A**	**34. 1**	**I**	**35. 2**	**36. 3**	**37. 4**	**38. 5**	**39. 6**	**40. 7**
41. ABD	A	**42.** 88.401		**43.** 03,3	**44.** 3,3	**45.** 5,9	**46.** 3	**47.** ,70	48. ,1
49. Almanya	A	**50.** 67.495		**51.** 5,2	**52.** 10,1	**53.** 3,4	**54.** 2	**55.** ,81	56. ,8
57. Japonya	J	**58.** 25.502		**59.** 2,5	**60.** 2,4	**61.** 9,8	**62.** 5	**63.** ,79	64. ,2
65. Kanada	K	**66.** 06.754		**67.** 3,1	**68.** 1,1	**69.** 8,5	**70.** 5	**71.** ,80	72. ,5
73. İtalya	İ	**74.** 3.556		**75.** 8,6	**76.** 3,8	**77.** 8,8	**78.** 1	**79.** ,64	80. ,5
81. Fransa	F	**82.** 5.584		**83.** 2,4	**84.** 4,6	**85.** 2,1	**86.** 3	**87.** ,72	88. ,1
89. İngiltere	İ	**90.** 6.124		**91.** 1,8	**92.** 5,4	**93.** 1,7	**94.** 9	**95.** ,78	96. ,2

Bu nedenle ilk olarak karar matrisindeki tüm değerler Z-skor yöntemiyle standartlaştırılmaktadır. Bu işlemde yöntem bölümünde verilen Eşitlik (1) kullanılmakta; her ülkenin ilgili kriterdeki değeri, kriter ortalamasına ve standart sapmasına göre yeniden hesaplanmaktadır. Böylece kriterler ortak bir ölçekte ifade edilmekte ve standartlaştırılmış karar matrisi Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3 Standartlaştırılmış Karar Matrisi

97. lternatif (Ülke)	**A**	**98. 1**	**99. 2**	**100. 3**	**101. 4**	**102. 5**	**103. 6**	**104. 7**
105. ABD	A	**106.** ,130	**107.** ,213	**108.** ,376	**109.** 1,611	**110.** 1,316	**111.** 0,767	112. ,605
113. Almanya	A	**114.** ,243	**115.** 0,016	**116.** 1,980	**117.** ,316	**118.** 0,461	**119.** ,970	120. ,309
121. Japonya	J	**122.** 0,116	**123.** 0,152	**124.** ,688	**125.** 0,089	**126.** ,774	**127.** ,654	128. 1,266
129. Kanada	K	**130.** 0,276	**131.** 0,574	**132.** ,138	**133.** 0,597	**134.** 1,126	**135.** ,812	136. ,014
137. İtalya	İ	**138.** 0,645	**139.** 0,622	**140.** ,203	**141.** 0,479	**142.** ,344	**143.** 1,714	144. 0,971
145. Fransa	F	**146.** 0,628	**147.** 0,474	**148.** 0,074	**149.** ,808	**150.** ,584	**151.** 0,451	152. 0,380
153. İngiltere	İ	**154.** 0,709	**155.** 0,374	**156.** 0,351	**157.** ,652	**158.** ,204	**159.** ,496	160. ,688

Z-skor standardizasyonu sonrasında karar matrisinde negatif değerlerin ortaya çıkması nedeniyle, SECA analizine geçmeden önce veri seti yeniden dönüştürülmektedir. Bu aşamada, yöntem bölümünde belirtilen Eşitlik (2) esas alınmakta ve her kriter için en düşük standartlaştırılmış değer dikkate alınarak gözlemler pozitif bölgeye taşınmaktadır. Böylece kriterlerin göreli yapısı korunmakta, ancak negatif değerlerin SECA hesaplamalarında oluşturabileceği sorunlar giderilmektedir. Bu işlem sonucunda elde edilen dönüştürülmüş karar matrisi Tablo 4'te sunulmaktadır.

Tablo 4 Pozitif Hale Getirilmiş Karar Matrisi

161. lternatif (Ülke)	**A**	**162. 1**	**1**	**164. 2**	**165. 3**	**166. 4**	**167. 5**	**168. 6**	**169. 7**
170. ABD	A	**171.** ,110	1	**173.** ,192	**174.** ,356	**175.** ,368	**176.** ,663	**177.** ,213	178. ,585
179. Almanya	A	**180.** ,223	1	**182.** ,964	**183.** ,000	**184.** ,295	**185.** ,518	**186.** ,949	187. ,289
188. Japonya	J	**189.** ,864	1	**191.** ,828	**192.** ,668	**193.** ,891	**194.** ,753	**195.** ,634	196. ,714
197. Kanada	K	**198.** ,704	1	**200.** ,406	**201.** ,118	**202.** ,383	**203.** ,853	**204.** ,791	205. ,994
206. İtalya	İ	**207.** ,335	2	**209.** ,358	**210.** ,183	**211.** ,500	**212.** ,323	**213.** ,266	214. ,009
215. Fransa	F	**216.** ,352	2	**218.** ,505	**219.** ,905	**220.** ,788	**221.** ,563	**222.** ,529	223. ,600
224. İngiltere	İ	**225.** ,271	2	**227.** ,606	**228.** ,628	**229.** ,632	**230.** ,183	**231.** ,476	232. ,668

4.2. SECA Yöntemi ile G7 Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Piyasası İstikrar Performansının Sıralanması

Birinci aşamada, SECA analizinde kullanılacak karar matrisi, Z-skor standardizasyonu ve pozitif dönüşüm işlemleri sonucunda elde edilen Tablo 4'e dayandırılmıştır. Bu işlemle karar matrisi değerleri pozitif hâle getirilmiş ve yöntemin gerektirdiği $x_{ij} > 0$ koşulu sağlanmıştır.

İkinci aşamada, Tablo 4'teki karar matrisi Eşitlik (4) ve Eşitlik (5) doğrultusunda normalize edilmiştir. Fayda yönlü kriterlerde maksimum değere oranlama, maliyet yönlü K5 kriterinde ise minimum değere göre oranlama yapılmıştır. Bu işlem sonucunda elde edilen normalize karar matrisi Tablo 5'te sunulmaktadır.

Tablo 5 Normalize Karar Matrisi

233. Alternatif (Ülke)	**A**	**234. 1**	**235. 2**	**236. 3**	**237. 4**	**238. 5**	**239. 6**	**240. 7**
241. ABD	A	**242.** ,000	**243.** ,000	**244.** ,756	**245.** ,112	**246.** ,000	**247.** ,411	248. ,705
249. Almanya	A	**250.** ,541	**251.** ,469	**252.** ,000	**253.** ,000	**254.** ,437	**255.** ,000	256. ,624
257. Japonya	J	**258.** ,454	**259.** ,436	**260.** ,856	**261.** ,574	**262.** ,241	**263.** ,893	264. ,195
265. Kanada	K	**266.** ,415	**267.** ,335	**268.** ,000	**269.** ,420	**270.** ,777	**271.** ,946	272. ,544
273. İtalya	İ	**274.** ,325	**275.** ,324	**276.** ,700	**277.** ,455	**278.** ,200	**279.** ,090	280. ,275
281. Fransa	F	**282.** ,329	**283.** ,359	**284.** ,611	**285.** ,846	**286.** ,259	**287.** ,518	288. ,436
289. İngiltere	İ	**290.** ,309	**291.** ,383	**292.** ,522	**293.** ,799	**294.** ,304	**295.** ,840	296. ,000

Üçüncü aşamada, normalize karar matrisi esas alınarak kriterlerin taşıdığı bilgi düzeyi belirlenmiştir. Bu kapsamda standart sapma değerleri kriterlerin alternatifler arasındaki dağılımını, çatışma değerleri ise kriterlerin birbirinden ayrışma gücünü gösterecek şekilde hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) yardımıyla normalize edilerek SECA modelinde kullanılacak referans değerlere dönüştürülmüştür.

Dördüncü aşamada, SECA'ya ait optimizasyon modeli farklı β değerleri altında çalıştırılmıştır. Eşitlik (9.1) –Eşitlik (9.6) doğrultusunda yapılan çözümleme sonucunda kriter ağırlıkları elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6 Farklı β değerleri için kriter ağırlıkları

297. riter	**298. ,1**	**299. ,2**	**300. ,3**	**301. ,4**	**302. ,5**	**303.**	**304.**	**305.**	**306.**	**307.**
308. 1	**309.** ,110	**310.** ,089	**311.** ,105	**312.** ,110	**313.** ,113	**314.** ,116	315. ,118	316. ,118	317. ,119	318. ,119
319. 2	**320.** ,064	**321.** ,070	**322.** ,096	**323.** ,106	**324.** ,112	**325.** ,115	326. ,117	327. ,118	328. ,118	329. ,118
330. 3	**331.** ,386	**332.** ,381	**333.** ,367	**334.** ,356	**335.** ,348	**336.** ,257	337. ,212	338. ,197	339. ,190	340. ,185
341. 4	**342.** ,425	**343.** ,388	**344.** ,305	**345.** ,260	**346.** ,234	**347.** ,205	348. ,190	349. ,185	350. ,183	351. ,181
352. 5	**353.** ,001	**354.** ,001	**355.** ,016	**356.** ,045	**357.** ,062	**358.** ,097	359. ,115	360. ,120	361. ,123	362. ,125
363. 6	**364.** ,001	**365.** ,001	**366.** ,021	**367.** ,026	**368.** ,032	**369.** ,094	370. ,125	371. ,135	372. ,140	373. ,143
374. 7	**375.** ,013	**376.** ,071	**377.** ,090	**378.** ,096	**379.** ,100	**380.** ,115	381. ,123	382. ,126	383. ,127	384. ,128

Beşinci aşamada, çok amaçlı SECA modeli, Eşitlik (10.1)–Eşitlik (10.8) doğrultusunda tek amaçlı optimizasyon yapısına indirgenmiştir. Model, belirlenen farklı β parametreleri altında çalıştırılmış ve her bir G7 ülkesi için performans skorları (S_i) elde edilmiştir. Hesaplanan performans değerleri Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7 Ülkelerin Performans Değerleri

385.	**386.**	**387.**	**388.**	**389.**	**390.**	**391.**	**392.**	**393.**	**394.**	**395.**
396. lternatif (Ülke)	**397. ,1**	**398. ,2**	**399. ,3**	**400. ,4**	**401. ,5**	**402.**	**403.**	**404.**	**405.**	**406.**
407. ABD	408. ,524	409. ,541	410. ,600	411. ,638	412. ,659	413. ,666	414. ,670	415. ,671	416. ,671	417. ,672
418. Almanya	419. ,524	420. ,514	421. ,491	422. ,476	423. ,469	424. ,530	425. ,560	426. ,571	427. ,576	428. ,579
429. Japonya	430. ,655	431. ,634	432. ,619	433. ,603	434. ,594	435. ,570	436. ,558	437. ,554	438. ,552	439. ,551
440. Kanada	441. ,640	442. ,644	443. ,652	444. ,659	445. ,663	446. ,657	447. ,654	448. ,653	449. ,653	450. ,653
451. İtalya	452. ,524	453. ,514	454. ,491	455. ,476	456. ,466	457. ,408	458. ,379	459. ,370	460. ,365	461. ,362
462. Fransa	463. ,661	464. ,647	465. ,606	466. ,579	467. ,564	468. ,534	469. ,519	470. ,514	471. ,512	472. ,511
473. İngiltere	474. ,614	475. ,635	476. ,617	477. ,600	478. ,591	479. ,602	480. ,607	481. ,609	482. ,609	483. ,610

Altıncı aşamada, Tablo 7'deki performans skorları kullanılarak her bir β değeri için ülke sıralamaları oluşturulmuştur. Skoru en yüksek olan ülke birinci, skoru en düşük olan ülke son sırada yer almıştır. Elde edilen sıralama sonuçları Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8 Farklı β Değerleri İçin Ülkelerin Sıralaması

484.	**485.**	**486.**	**487.**	**488.**	**489.**	**490.**	**491.**	**492.**	**493.**	**494.**
495. lternatif (Ülke)	**496. ,1**	**497. ,2**	**498. ,3**	**499. ,4**	**500. ,5**	**501.**	**502.**	**503.**	**504.**	**505.**
506. ABD	507.	508.	509.	510.	511.	512.	513.	514.	515.	516.
517. Almanya	518.	519.	520.	521.	522.	523.	524.	525.	526.	527.
528. Japonya	529.	530.	531.	532.	533.	534.	535.	536.	537.	538.
539. Kanada	540.	541.	542.	543.	544.	545.	546.	547.	548.	549.
550. İtalya	551.	552.	553.	554.	555.	556.	557.	558.	559.	560.
561. Fransa	562.	563.	564.	565.	566.	567.	568.	569.	570.	571.
572. İngiltere	573.	574.	575.	576.	577.	578.	579.	580.	581.	582.

Tablo 8'e göre ülke sıralamaları düşük β değerlerinde kısmen değişmekle birlikte, $\beta = 1$ sonrasında daha kararlı bir yapı göstermektedir. Özellikle $\beta = 3$ değeri dikkate alındığında sıralama ABD (1)> Kanada (2)> İngiltere (3)> Almanya (4)> Japonya (5)> Fransa (6)> İtalya (7) şeklinde oluşmaktadır. Bu sonuç, ABD'nin yenilenebilir enerji piyasası istikrar performansı bakımından en güçlü ülke olduğunu göstermektedir. Kanada ve İngiltere üst sıralarda yer alırken, İtalya tüm β değerlerinde en zayıf performansı göstermektedir.

Yedinci aşamada, farklı β değerlerine ait sıralamalar Spearman sıra korelasyonu ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 9'da sunulmaktadır.

Tablo 9 SECA Modelinde β Parametresine Göre Sıralamaların Spearman Korelasyon Matrisi

	583.	**584.**	**585.**	**586.**	**587.**	**588.**	**589.**	**590.**	**591.**	**592.**
593. lternatif (Ülke)	**594. ,1**	**595. ,2**	**596. ,3**	**597. ,4**	**598. ,5**	**599.**	**600.**	**601.**	**602.**	**603.**
604. ,1	605. ,000	606.	607.	608.	609.	610.	611.	612.	613.	614.
615. ,2	616. ,857	617. ,000	618.	619.	620.	621.	622.	623.	624.	625.
626. ,3	627. ,714	628. ,750	629. ,000	630.	631.	632.	633.	634.	635.	636.
637. ,4	638. ,250	639. ,464	640. ,750	641. ,000	642.	643.	644.	645.	646.	647.
648. ,5	649. ,321	650. ,500	651. ,786	652. ,964	653. ,000	654.	655.	656.	657.	658.
659.	660. ,143	661. ,429	662. ,607	663. ,893	664. ,929	665. ,000	666.	667.	668.	669.
670.	671. ,107	672. ,179	673. ,393	674. ,679	675. ,786	676. ,893	677. ,000	678.	679.	680.
681.	682. ,107	683. ,179	684. ,393	685. ,679	686. ,786	687. ,893	688. ,000	689. ,000	690.	691.
692.	693. ,107	694. ,179	695. ,393	696. ,679	697. ,786	698. ,893	699. ,000	700. ,000	701. ,000	702.
703.	704. ,107	705. ,179	706. ,393	707. ,679	708. ,786	709. ,893	710. ,000	711. ,000	712. ,000	713. ,000

Sekizinci aşamada, SECA modeline ait $\lambda_a$ve Zdeğerleri hesaplanmıştır. λ_a, modelde alternatifler arasında ulaşılan en düşük performans düzeyini; Z ise amaç fonksiyonu sonucunu göstermektedir. Farklı β değerlerine göre elde edilen sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10 SECA Modelinde β Parametresine Göre Z ve λ_a Sonuçları

714.	β	λ_a (Denge Katsayısı) 716.		717. Z (Amaç Fonksiyonu Değeri)	
718.	0,1	**719.**	0,524	**720.**	0,490
721.	0,2	**722.**	0,514	**723.**	0,458
724.	0,3	**725.**	0,491	**726.**	0,436
727.	0,4	**728.**	0,476	**729.**	0,420
730.	0,5	**731.**	0,466	**732.**	0,407
733.	1	**734.**	0,408	**735.**	0,377
736.	2	**737.**	0,379	**738.**	0,360
739.	3	**740.**	0,370	**741.**	0,352
742.	4	**743.**	0,365	**744.**	0,347
745.	5	**746.**	0,362	**747.**	0,343

5. Sonuç

Bu çalışmada G7 ülkelerinin yenilenebilir enerji piyasası istikrar performansları SECA yöntemiyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmanın çıkış noktası, yenilenebilir enerji piyasalarında istikrarın yalnızca kurulu kapasite ya da yatırım hacmi üzerinden açıklanamayacağı düşüncesine dayanmaktadır. Bu nedenle analizde yenilenebilir enerji kapasitesi, yeşil yatırım hacmi, CO_2 azaltım performansı, sürdürülebilirlik teşvikleri, rekabet gücü sıralaması, hukuk gücü ve yeşil istihdam artışı olmak üzere yedi kriter kullanılmıştır. Böylece ülkelerin yenilenebilir enerji piyasalarındaki konumu teknik, finansal, çevresel, kurumsal, rekabetçi ve sosyal boyutları birlikte içeren daha geniş bir çerçevede ele alınmıştır.

Analiz sürecinde, kriterlerin farklı ölçü birimlerine sahip olması nedeniyle öncelikle Z-skor standardizasyonu uygulanmış, ardından SECA yönteminin pozitif değer gerekliliğini sağlamak amacıyla veri seti pozitif alana taşınmıştır. Bu işlem, ülkeler arasında doğrudan karşılaştırma yapılabilmesi ve kriterlerin ortak bir ölçekte değerlendirilebilmesi açısından önem taşımaktadır. Normalize karar matrisi oluşturulduktan sonra SECA yöntemi ile kriter ağırlıkları ve ülke performans skorları farklı β değerleri altında hesaplanmıştır.

Elde edilen bulgular, G7 ülkeleri arasında yenilenebilir enerji piyasası istikrar performansının belirgin biçimde farklılaştığını göstermektedir. β=3 değeri dikkate alındığında sıralama ABD, Kanada, İngiltere, Almanya, Japonya, Fransa ve İtalya şeklinde oluşmuştur. ABD'nin ilk sırada yer alması, bu ülkenin yenilenebilir enerji

kapasitesi ve yeşil yatırım hacmi bakımından güçlü bir konuma sahip olmasıyla ilişkilendirilebilir. Kanada'nın ikinci sıradaki konumu, özellikle CO_2 azaltım performansı ve kurumsal göstergelerdeki görece güçlü yapısıyla açıklanabilir. İngiltere'nin üçüncü sırada yer alması ise yeşil istihdam artışı ve kurumsal göstergeler açısından olumlu bir görünüm sunduğunu göstermektedir.

Almanya, Japonya ve Fransa orta sıralarda yer alırken, İtalya analiz kapsamında en düşük performansa sahip ülke olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, yenilenebilir enerji piyasası istikrarının yalnızca enerji dönüşümüne verilen genel önemle değil, seçilen kriterlerdeki dengeli performansla ilişkili olduğunu göstermektedir. Özellikle bazı ülkelerin belirli kriterlerde güçlü olmasına rağmen diğer göstergelerde daha zayıf kalması, toplam performans sıralamasını etkilemiştir. Bu durum, yenilenebilir enerji piyasalarında istikrarın tek bir alandaki başarıyla değil, farklı politika ve piyasa bileşenlerinin birlikte güçlendirilmesiyle sağlanabileceğini ortaya koymaktadır.

Kriter ağırlıkları incelendiğinde, CO_2 azaltım performansı ve sürdürülebilirlik teşviklerinin öne çıktığı görülmektedir. Bu bulgu, yenilenebilir enerji piyasalarında istikrarın yalnızca kapasite artışı veya yatırım büyüklüğüyle sınırlı olmadığını; çevresel hedeflerle uyumlu politika yapısının ve teşvik mekanizmalarının da belirleyici olduğunu göstermektedir. Hukuk gücü, yeşil istihdam artışı ve rekabet gücü göstergelerinin de ağırlık yapısında önemli yer tutması, enerji dönüşümünün kurumsal güven, işgücü dönüşümü ve piyasa yapısıyla birlikte ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Çalışmanın bulguları, G7 ülkelerinde yenilenebilir enerji piyasalarının daha istikrarlı bir yapıya kavuşabilmesi için politika sürekliliğinin, yatırım ortamının ve kurumsal güvenin güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılması tek başına yeterli değildir; bu kapasitenin yeşil finansman, karbon azaltım hedefleri, rekabetçi piyasa yapısı ve nitelikli yeşil istihdamla desteklenmesi gerekmektedir. Bu nedenle enerji politikalarında yalnızca üretim miktarını artırmaya odaklanan yaklaşımlar yerine, piyasa istikrarını çok boyutlu biçimde güçlendiren bütüncül politikalar öne çıkarılmalıdır.

Bu araştırma, G7 ülkelerinde yenilenebilir enerji piyasası istikrarını teknik kapasite, yatırım düzeyi, çevresel performans, kurumsal yapı, rekabet koşulları ve yeşil istihdam göstergeleriyle birlikte ele alması bakımından literatüre farklı bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır. Bununla birlikte analiz, seçilen kriterler ve 2023 yılı veri setiyle sınırlıdır. Gelecek çalışmalarda farklı ülke grupları, daha uzun dönemli veriler ve alternatif çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı analizler yapılabilir. Ayrıca farklı ağırlıklandırma yaklaşımlarıyla gerçekleştirilecek duyarlılık analizleri, yenilenebilir enerji piyasası istikrarına ilişkin bulguların sağlamlığını artırabilir.

Kaynakça

Alizadeh, R., Soltanisehat, L., Lund, P., & Zamani-Sabzi, H. (2020). Improving renewable energy policy planning and decision-making through a hybrid MCDM method. Energy Policy. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111174

Alkan, N. (2023). Evaluation of Sustainable Development and Utilization-Oriented Renewable Energy Systems based on CRITIC-SWARA-CODAS Method Using Interval Valued Picture Fuzzy Sets. Sustainable Energy, Grids and Networks. https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101263

Assadi, M., Ataebi, M., Ataebi, E., & Hasani, A. (2022). Prioritization of renewable energy resources based on sustainable management approach using simultaneous evaluation of criteria and alternatives: A case study on Iran's electricity industry. Renewable Energy. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.065

Campos-Guzman, V., García-Cascales, M., Espinosa, N., & Urbina, A. (2019). Life Cycle Analysis with Multi-Criteria Decision Making: A review of approaches for the sustainability evaluation of renewable energy technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.031

Chu, L. (2023). The role of energy security and economic complexity in renewable energy development: evidence from G7 countries. Environmental Science and Pollution Research, 30, 56073-56093. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26208-w

Dai, J., Farooq, U., & Alam, M. (2024). Navigating energy policy uncertainty: Effects on fossil fuel and renewable energy consumption in G7 economies. International Journal of Green Energy, 22, 239 - 252. https://doi.org/10.1080/15435075.2024.2413676

Doğan, B., Williams, A., & Williams, A. (2023). Ekonomi Politikası Belirsizliği ve Yenilenebilir Enerji Yatırımları İlişkisi, G7 Örneği. Sinop Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi. https://doi.org/10.30561/sinopusd.1267695

Ecer, F. (2021). A consolidated MCDM framework for performance assessment of battery electric vehicles based on ranking strategies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110916

Erdoğan, S., Pata, U., & Solarin, S. (2023). Towards carbon-neutral world: The effect of renewable energy investments and technologies in G7 countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113683

Guo, Y., Yu, C., Zhang, H., & Cheng, H. (2021). Asymmetric between oil prices and renewable energy consumption in the G7 countries. Energy. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120319

IEA. (2024), World Energy Investment 2024. Erişim tarihi: 13.05.2026. https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2024

ILO ve IRENA. (2023), Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2023. Erişim tarihi: 13.05.2026. https://www.irena.org/Publications/2023/Sep/Renewable-energy-and-jobs-Annual-review-2023

IMD. (2023), World Competitiveness Ranking 2023. Erişim tarihi: 13.05.2026. https://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-competitiveness-ranking/

IRENA. (2024), Renewable Capacity Statistics 2024. Erişim tarihi: 13.05.2026. https://www.irena.org/Publications/2024/Mar/Renewable-capacity-statistics-2024

Irfan, M., Rehman, M., Razzaq, A., & Hao, Y. (2023). What derives renewable energy transition in G-7 and E-7 countries? The role of financial development and mineral markets. Energy Economics. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106661

Işık, C., Kuziboev, B., Ongan, S., Saidmamatov, O., Mirkhoshimova, M., & Rajabov, A. (2024). The volatility of global energy uncertainty: Renewable alternatives. Energy. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131250

Keshavarz-Ghorabaee, M., Amiri, M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. ve Antucheviciene, J. (2018). Simultaneous evaluation of criteria and alternatives (SECA) for multi-criteria decision-making. Informatica, 29(2), 265–280. https://doi.org/10.15388/Informatica.2018.167

Khan, K., & Su, C. (2022). Does policy uncertainty threaten renewable energy? Evidence from G7 countries. Environmental Science and Pollution Research International, 29, 34813- 34829. https://doi.org/10.1007/s11356-021-16713-1

Khan, U., Khan, A., Khan, M., Ahmed, P., Haque, A., & Parvin, R. (2022). Are the impacts of renewable energy use on load capacity factors homogeneous for developed and developing nations? Evidence from the G7 and E7 nations. Environmental Science and Pollution Research, 30, 24629-24640. https://doi.org/10.1007/s11356-022-24002-8

Kumar, A., Sah, B., Singh, A., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 69, 596-609. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.191

Lak, K., Kashani, A., Azizi, A., Karimi, N., & Hosseinpour, M. (2024). Application of simultaneous evaluation of criteria and alternatives for prioritization of photovoltaic power plant location. The Journal of Engineering. https://doi.org/10.1049/tje2.70020

Liu, W., Shen, Y., & Razzaq, A. (2023). How renewable energy investment, environmental regulations, and financial development derive renewable energy transition: Evidence from G7 countries. Renewable Energy. https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.017

Moreno-Rocha, C., Núñez-Álvarez, J., Rivera-Alvarado, J., Ruiz, A., & Buelvas-Sanchez, E. (2025). Multi-criteria evaluation and multi-method analysis for appropriately selecting renewable energy sources in Colombia. MethodsX, 14. https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103248

OECD. (2023), Government at a Glance 2023. Erişim tarihi: 13.05.2026. https://www.oecd.org/en/publications/government-at-a-glance-2023_3d5c5d31-en.html

Okumus, I., Guzel, A., & Destek, M. (2021). Renewable, non-renewable energy consumption and economic growth nexus in G7: fresh evidence from CS-ARDL.

Environmental Science and Pollution Research, 28, 56595 - 56605. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14618-7

Pata, U., Alola, A., Erdoğan, S., & Kartal, M. (2023). The influence of income, economic policy uncertainty, geopolitical risk, and urbanization on renewable energy investments in G7 countries. Energy Economics. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107172

Rahman, M., & Sarkandiz, M. (2023). Renewable Energy Consumption in G-7 Countries: Evidence from a Dynamic Panel Investigation. International Journal of Energy Research. https://doi.org/10.1155/2023/3100705

Rajendran, R., Krishnaswamy, J., & Subramaniam, N. (2023). Dynamics of macro-economic factors for energy transition and its reviews - A conceptual framework for G7 countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113692

Safi, A., Wahab, S., Zeb, F., Amin, M., & Chen, Y. (2021). Does financial stability and renewable energy promote sustainable environment in G-7 Countries? The role of income and international trade. Environmental Science and Pollution Research, 28, 47628-47640. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13991-7

Sahoo, S., Choudhury, B., Dhal, P., & Hanspal, M. (2025). A Comprehensive Review of Multi-criteria Decision-making (MCDM) Toward Sustainable Renewable Energy Development. Spectrum of Operational Research. https://doi.org/10.31181/sor21202527

Saraswat, S., & Digalwar, A. (2021). Evaluation of energy alternatives for sustainable development of energy sector in India: An integrated Shannon's entropy fuzzy multi-criteria decision approach. Renewable Energy, 171, 58-74. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.068

Shao, M., Han, Z., Sun, J., Xiao, C., Zhang, S., & Zhao, Y. (2020). A review of multi-criteria decision making applications for renewable energy site selection. Renewable Energy. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.137

Siksnelyte-Butkiene, I., Zavadskas, E., & Štreimikienė, D. (2020). Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) for the Assessment of Renewable Energy Technologies in a Household: A Review. Energies, 13, 1-22. https://doi.org/10.3390/en13051164

Su, C., Khan, K., Umar, M., & Chang, T. (2022). Renewable energy in prism of technological innovation and economic uncertainty. Renewable Energy. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.110

Sun, C., Khan, A., Liu, Y., & Lei, N. (2022). An analysis of the impact of fiscal and monetary policy fluctuations on the disaggregated level renewable energy generation in the G7 countries. Renewable Energy. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.027

Tugcu, C., & Menegaki, A. (2023). The impact of renewable energy generation on energy security: Evidence from the G7 countries. Gondwana Research. https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.08.018

WJP. (2023), Rule of Law Index 2023. Erişim tarihi: 13.05.2026. https://worldjusticeproject.org/rule-of-law-index/

World Bank. (2024), World Development Indicators. Erişim tarihi: 13.05.2026. https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators

Xi, J., Boateng, S., Sackitey, G., Karikari, F., & Fumey, M. (2025). Political economy of renewable energy transitions: Technology-specific responses to geopolitical risk and political stability in G7 economies. Journal of environmental management, 394, 127453. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127453

Xu, D., Sheraz, M., Hassan, A., Sinha, A., & Ullah, S. (2022). Financial development, renewable energy and CO2 emission in G7 countries: New evidence from non-linear and asymmetric analysis. Energy Economics. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105994

Yasmeen, R., & Shah, W. (2024). Energy uncertainty, geopolitical conflict, and militarization matters for Renewable and non-renewable energy development: Perspectives from G7 economies. Energy. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132480

Zhang, W., Geng, X., Cheng, S., Zhou, Q., & Liu, Y. (2024). Simultaneous evaluation of criteria and alternatives method-based site selection for solar hydrogen production plant in Inner Mongolia, China. Sustainable Energy Technologies and Assessments. https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103583

Zong, H., Cao, Y., & Liu, Z. (2018). Energy security in Group of Seven (G7): a quantitative approach for renewable energy policy. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 13, 173 - 175. https://doi.org/10.1080/15567249.2017.1422053

ALGLER VE DENİZ YOSUNLARININ SÜRDÜRÜLEBİLİR BESLENMEDEKİ ROLÜ: ALTERNATİF PROTEİN KAYNAĞI OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Sudenaz AYAZ[1], Serap TOPRAK DÖŞLÜ[2]

[1]Mardin Artuklu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Beslenme, Mardin, Türkiye, Orcid: 0009-0005-2334-6009

[2]Mardin Artuklu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Beslenme, Mardin, Türkiye, Orcid: 0000-0002-5455-8179

Özet

Küresel nüfusun hızlı artışı ve doğal kaynakların giderek tükenmesi, günümüzün en acil küresel sorunları arasında yer almaktadır. Mevcut dünya nüfusu 7,5 milyarı aşmış olup, 2050 yılına kadar yaklaşık 10 milyara ulaşacağı öngörülmektedir. Bu durum, sürdürülebilir kalkınma ve beslenme yaklaşımlarının geliştirilmesini kaçınılmaz kılmaktadır. Özellikle hayvansal protein üretiminin yüksek sera gazı emisyonları, yoğun su ve arazi kullanımı ile ilişkili olması, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli sorunlar oluşturmaktadır. Bu bağlamda algler (mikroalgler ve makroalgler) ve özellikle deniz yosunları (makroalgler), yüksek besin değerleri ve düşük çevresel ayak izleri ile öne çıkan biyolojik kaynaklar arasında yer almaktadır. Algler ve deniz yosunları; yüksek protein içerikleri, dengeli esansiyel amino asit kompozisyonları, vitamin, mineral ve diyet lifi bakımından zengin yapıları ile dikkat çekmektedir. Mikroalglerde protein içeriğinin %50–70 düzeyine ulaşabilmesi, bu organizmaları güçlü bir alternatif protein kaynağı haline getirmektedir. Bunun yanı sıra alg kaynaklı biyoaktif bileşikler ve peptitlerin çeşitli sağlık yararları sunduğu bildirilmektedir. Alg ve deniz yosunu üretimi; düşük kaynak gereksinimi, hızlı büyüme kapasitesi ve karbon tutulumuna katkısı sayesinde çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak duyusal özellikler, tüketici kabulü ve üretim maliyetleri gibi faktörler bu ürünlerin yaygın kullanımını sınırlamaktadır.

Sonuç olarak algler ve özellikle deniz yosunları, sürdürülebilir beslenme sistemlerinde stratejik bir alternatif olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Algler; deniz yosunları; sürdürülebilir beslenme; alternatif protein kaynakları; fonksiyonel gıdalar; çevresel sürdürülebilirlik

1. GİRİŞ

Küresel nüfus artışı, iklim değişikliği, doğal kaynakların tükenmesi ve gıda güvencesi sorunları sürdürülebilir beslenme yaklaşımlarının önemini artırmaktadır. Birleşmiş Milletler verilerine göre dünya nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 10 milyara ulaşacağı öngörülmektedir. Bu artış, mevcut gıda üretim sistemleri üzerindeki baskının daha da artmasına neden olmaktadır [1]. Özellikle hayvansal protein üretiminin yüksek sera gazı emisyonları, yoğun su tüketimi ve geniş tarım alanı gereksinimi ile ilişkili olması çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli sorunlar oluşturmaktadır [2]. Bu nedenle hem çevresel etkisi düşük hem de besin değeri yüksek alternatif protein kaynaklarına yönelik ilgi son yıllarda belirgin şekilde artmıştır. Alternatif protein

kaynakları arasında yer alan algler ve deniz yosunları, sürdürülebilir beslenme açısından dikkat çeken biyolojik kaynaklar arasında değerlendirilmektedir. Algler genel olarak mikroalgler ve makroalgler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Mikroalgler mikroskobik boyutta fotosentetik organizmalar iken; makroalgler daha büyük yapıda bulunan ve yaygın olarak deniz yosunu olarak adlandırılan organizmaları kapsamaktadır[3].

Özellikle Spirulina, Chlorella, Ulva, Laminaria ve Porphyra gibi türler yüksek besin değerleri nedeniyle gıda endüstrisinde giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Alg ve deniz yosunlarının sürdürülebilir beslenmede öne çıkmasının temel nedenlerinden biri yüksek protein içerikleridir. Bazı mikroalg türlerinde protein oranının kuru ağırlığın %50–70'ine kadar ulaşabildiği bildirilmektedir [4]. Bunun yanında esansiyel aminoasit profillerinin dengeli olması, vitamin, mineral, diyet lifi ve biyoaktif bileşikler bakımından zengin içerik göstermeleri bu organizmaların fonksiyonel gıda potansiyelini artırmaktadır. Özellikle omega-3 yağ asitleri, polifenoller, karotenoidler ve fitokimyasallar açısından zengin olmaları nedeniyle sağlık üzerinde olumlu etkiler oluşturabilecekleri düşünvelidir [5]. Son yıllarda yapılan çalışmalar, alg kaynaklı bileşiklerin antioksidan, antiinflamatuvar, antihipertansif ve immünomodülatör etkiler gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca bağırsak mikrobiyotası üzerinde olumlu etkiler oluşturabilecekleri ve kardiyometabolik sağlık açısından yarar sağlayabilecekleri bildirilmektedir [6]. Bu nedenle algler yalnızca alternatif protein kaynağı olarak değil; aynı zamanda fonksiyonel besin bileşeni olarak da değerlendirilmektedir.

Alg üretiminin çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunduğu belirtilmektedir. Algler hızlı büyüme kapasitesine sahip olmalarının yanı sıra tarım arazisine daha az ihtiyaç duymakta ve bazı türler tuzlu su ortamında yetiştirilebilmektedir. Bunun yanında karbon dioksit tutulumuna katkı sağlayarak çevresel yükün azaltılmasına destek olabilecekleri düşünülmektedir [7]. Hayvansal protein üretimi ile karşılaştırıldığında daha düşük su tüketimi ve daha düşük sera gazı emisyonu oluşturmaları sürdürülebilir gıda sistemleri açısından önemli avantajlar arasında gösterilmektedir. Bununla birlikte alg ve deniz yosunlarının yaygın kullanımını sınırlandıran bazı faktörler de bulunmaktadır. Özellikle duyusal özellikler, tüketici kabulü, üretim maliyetleri, standardizasyon sorunları ve bazı türlerde ağır metal birikimi riski dikkat çekmektedir [8, 9]. Ayrıca farklı alg türlerinin besin bileşimi açısından değişkenlik göstermesi kalite kontrol süreçlerinin önemini artırmaktadır. Bu nedenle güvenilir üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve tüketici farkındalığının artırılması gerektiği düşünülmektedir. Sürdürülebilir beslenme sistemlerinin geliştirilmesinde çevresel etkisi düşük, besin değeri yüksek ve uygulanabilir alternatif protein kaynaklarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Algler ve özellikle deniz yosunları bu açıdan geleceğin stratejik besin kaynaklarından biri olarak değerlendirilmektedir. Ancak mevcut literatürde üretim süreçleri, biyoyararlanım, uzun dönem sağlık etkileri ve tüketici davranışları ile ilgili daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu görülmektedir. Bu derleme çalışmasının amacı; algler ve deniz yosunlarının sürdürülebilir beslenmedeki rolünü güncel bilimsel veriler doğrultusunda değerlendirmek, alternatif protein kaynağı olarak potansiyellerini incelemek ve sağlık ile çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkilerini bütüncül bir bakış açısıyla ele almaktır[10,11].

1. YÖNTEM

Bu derleme çalışmasında algler ve deniz yosunlarının sürdürülebilir beslenmedeki rolü ile alternatif protein kaynağı olarak potansiyelleri güncel bilimsel literatür doğrultusunda değerlendirilmiştir. Literatür taraması PubMed, Scopus, Web of Science ve Google Scholar veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tarama sürecinde özellikle son 5–6 yıl içerisinde yayımlanan sistematik derlemeler, meta-analizler, deneysel çalışmalar, gözlemsel araştırmalar ve güncel raporlar incelenmiştir [1, 2]. Literatür taraması sırasında "algae", "microalgae", "seaweed", "macroalgae", "sustainable nutrition", "alternative protein", "functional foods", "environmental sustainability", "food security", "marine bioactive compounds" ve "plant-based nutrition" anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Bunun yanında anahtar kelimelerin farklı kombinasyonları ile ek taramalar yapılarak konu ile ilişkili güncel çalışmalara ulaşılması amaçlanmıştır [3]. Çalışmalar değerlendirilirken alg ve deniz yosunlarının protein içerikleri, aminoasit profilleri, vitamin ve mineral bileşimleri, biyoaktif bileşenleri ve sağlık üzerindeki potansiyel etkileri dikkate alınmıştır. Ayrıca sürdürülebilirlik açısından karbon ayak izi, su kullanımı, arazi gereksinimi ve çevresel etkiler ile ilgili veriler de incelenmiştir [1, 7]. Derleme kapsamında özellikle sürdürülebilir beslenme sistemleri açısından alglerin alternatif protein kaynağı olarak kullanılabilirliği üzerinde durulmuştur. Bunun yanında fonksiyonel gıda potansiyelleri, bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkileri, antioksidan ve antiinflamatuvar özellikleri ile ilgili çalışmalar değerlendirilmiştir [5, 11]. Ayrıca üretim maliyetleri, tüketici kabulü, duyusal özellikler ve güvenlik ile ilgili sınırlılıklar da literatür doğrultusunda ele alınmıştır. Çalışmaya dahil edilen yayınların büyük çoğunluğu İngilizce dilinde yayımlanmış güncel bilimsel makalelerden oluşmaktadır. Konu ile doğrudan ilişkili olmayan, tam metnine ulaşılamayan veya güncelliğini kaybetmiş çalışmalar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Elde edilen veriler sürdürülebilir beslenme ve alternatif protein kaynakları perspektifinde bütüncül şekilde yorumlanmıştır [8, 9].

2. ALG VE DENİZ YOSUNLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Algler, fotosentetik özellik gösteren ve sucul ekosistemlerde yaygın olarak bulunan organizmalar arasında yer almaktadır. Yapısal özelliklerine göre mikroalgler ve makroalgler olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Mikroalgler mikroskobik boyutta bulunan tek hücreli organizmalar iken; makroalgler çok hücreli yapıda olup yaygın olarak deniz yosunu olarak adlandırılmaktadır [3]. Algler deniz, tatlı su ve nemli toprak gibi farklı çevresel koşullarda yaşayabilmekte ve yüksek adaptasyon kapasitesi gösterebilmektedir. Mikroalgler arasında en yaygın araştırılan türler Spirulina, Chlorella, Dunaliella ve Haematococcus olarak bilinmektedir. Bu türlerin yüksek protein içerikleri, hızlı büyüme kapasiteleri ve biyoaktif bileşikler bakımından zengin olmaları nedeniyle gıda, farmasötik ve kozmetik alanlarında kullanım potansiyelleri bulunmaktadır [10, 11]. Özellikle Spirulina ve Chlorella türlerinin alternatif protein kaynağı olarak ticari kullanımının son yıllarda arttığı bildirilmektedir. Makroalgler ise genel olarak yeşil, kahverengi ve kırmızı algler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Yeşil algler arasında Ulva türleri öne çıkarken; Laminaria, Undaria ve Saccharina kahverengi algler arasında yer almaktadır. Porphyra ve Palmaria ise yaygın olarak tüketilen kırmızı alg türleri arasında bulunmaktadır [7]. Özellikle Doğu Asya ülkelerinde deniz yosunlarının uzun yıllardır geleneksel beslenmenin önemli bileşenlerinden biri olduğu bilinmektedir.

Alglerin beslenme açısından dikkat çekmesinin temel nedenlerinden biri zengin besin içerikleridir. Protein, vitamin, mineral, omega-3 yağ asitleri, diyet lifi ve çeşitli biyoaktif bileşikler bakımından zengin olmaları nedeniyle fonksiyonel gıda olarak değerlendirilmektedirler [3, 5]. Bazı mikroalg türlerinde protein oranının kuru ağırlığın %60'ından fazlasına ulaşabildiği bildirilmektedir [4]. Bunun yanında esansiyel aminoasit profillerinin dengeli olması biyolojik değerlerini artırmaktadır. Algler yalnızca besin içerikleri açısından değil; aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da önemli avantajlar sunmaktadır. Geleneksel hayvansal protein üretimi ile karşılaştırıldığında daha düşük su tüketimi, daha az arazi gereksinimi ve daha düşük sera gazı emisyonu oluşturabilecekleri belirtilmektedir [1]. Ayrıca fotosentetik özellikleri sayesinde karbon dioksit tutulmasına katkı sağlayabilmeleri çevresel açıdan dikkat çekici özelliklerinden biridir. Son yıllarda sürdürülebilir gıda sistemlerine yönelik ilginin artmasıyla birlikte alglerin alternatif protein kaynağı olarak kullanımı daha fazla araştırılmaya başlanmıştır [2]. Özellikle vegan ve vejetaryen beslenme modellerinin yaygınlaşması, bitki temelli protein kaynaklarına olan talebi artırmıştır. Bu bağlamda algler; yüksek besin değerleri, hızlı üretim potansiyelleri ve çevresel avantajları nedeniyle geleceğin stratejik besin kaynaklarından biri olarak değerlendirilmektedir [1, 3].

Bununla birlikte alglerin yaygın kullanımını sınırlayan bazı faktörler de bulunmaktadır. Özellikle bazı türlerde yoğun deniz aroması, koyu renk ve farklı tekstürel özellikler tüketici kabulünü etkileyebilmektedir [9]. Bunun yanında üretim maliyetleri, işleme teknolojileri ve standardizasyon eksiklikleri ticari kullanım açısından önemli sınırlılıklar arasında gösterilmektedir [4]. Ayrıca bazı alg türlerinde ağır metal birikimi görülebileceği için güvenlik değerlendirmelerinin dikkatli şekilde yapılması gerektiği belirtilmektedir [8]. Alg ve deniz yosunlarının gelecekte sürdürülebilir beslenme sistemleri açısından daha önemli hâle gelebileceği düşünülmektedir. Özellikle alternatif protein üretimi, fonksiyonel gıda geliştirilmesi ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri açısından alg temelli ürünlerin potansiyelinin giderek arttığı bildirilmektedir [10]. Ancak tüketici kabulü, maliyet etkin üretim yöntemleri ve uzun dönem sağlık etkileri konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır [9].

ALG VE DENİZ YOSUNLARININ BESİN DEĞERİ

Algler ve deniz yosunları, yüksek besin değerleri nedeniyle sürdürülebilir beslenme sistemlerinde dikkat çeken biyolojik kaynaklar arasında yer almaktadır. Protein, vitamin, mineral, diyet lifi, çoklu doymamış yağ asitleri ve çeşitli biyoaktif bileşikler bakımından zengin olmaları bu organizmaların fonksiyonel gıda potansiyelini artırmaktadır [3]. Özellikle mikroalglerin yüksek protein içerikleri nedeniyle alternatif protein kaynağı olarak değerlendirilmesi son yıllarda önem kazanmıştır [1, 2]. Alglerin besin bileşimleri tür, yetişme ortamı, ışık yoğunluğu, sıcaklık, hasat zamanı ve işleme yöntemlerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir [4]. Bununla birlikte birçok alg türünün yüksek biyolojik değere sahip besin öğeleri içerdiği bildirilmektedir. Mikroalglerin özellikle protein açısından zengin olduğu; makroalglerin ise mineral, diyet lifi ve biyoaktif bileşikler bakımından öne çıktığı belirtilmektedir [3, 5]. Alglerde bulunan proteinlerin esansiyel aminoasit profili açısından dengeli olduğu düşünülmektedir. Özellikle Spirulina ve Chlorella gibi mikroalg türlerinde lösin, izolösin, valin ve lizin gibi esansiyel aminoasitlerin önemli miktarda bulunduğu bildirilmektedir [4,11]. Bu durum alglerin bitkisel protein kaynakları arasında dikkat çekmesine neden olmaktadır. Ayrıca bazı

çalışmalar alg proteinlerinin sindirilebilirlik düzeyinin yüksek olabileceğini göstermektedir.

Algler vitamin ve mineral bakımından da zengin içerik göstermektedir. Özellikle B grubu vitaminleri, A vitamini prekürsörleri, C vitamini ve E vitamini açısından önemli kaynaklar arasında yer aldıkları bildirilmektedir [3, 5]. Bunun yanında iyot, demir, magnezyum, kalsiyum, çinko ve potasyum gibi mineralleri içermeleri nedeniyle beslenme açısından değerli oldukları düşünülmektedir [8]. Özellikle deniz yosunlarının doğal iyot kaynağı olması tiroid sağlığı açısından önem taşımaktadır. Alglerin içerdiği diyet lifleri bağırsak sağlığı üzerinde olumlu etkiler oluşturabilmektedir. Çözünür lif içeriğinin yüksek olması bağırsak mikrobiyotasını destekleyebilmekte ve kısa zincirli yağ asidi üretimine katkı sağlayabilmektedir [5, 11]. Bunun yanında liflerin tokluk hissini artırabileceği ve glisemik kontrol üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği bildirilmektedir [6]. Bazı alg türlerinin omega-3 yağ asitleri bakımından zengin olduğu bilinmektedir. Özellikle mikroalglerin eikosapentaenoik asit (EPA) ve dokosahekzaenoik asit (DHA) gibi uzun zincirli omega-3 yağ asitlerini sentezleyebildiği belirtilmektedir [1, 10]. Bu nedenle algler sürdürülebilir omega-3 kaynakları arasında değerlendirilmektedir. Omega-3 yağ asitlerinin kardiyovasküler sağlık, inflamasyon kontrolü ve nörolojik fonksiyonlar üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği bildirilmektedir.

Alglerde bulunan polifenoller, karotenoidler, fikosiyanin ve sülfatlanmış polisakkaritler gibi biyoaktif bileşikler sağlık açısından dikkat çekmektedir. Bu bileşiklerin antioksidan ve antiinflamatuvar özellik gösterebileceği belirtilmektedir [6, 11]. Özellikle oksidatif stresin azaltılması ve bağışıklık sisteminin desteklenmesi açısından potansiyel yarar sağlayabilecekleri düşünülmektedir. Bununla birlikte alglerin besin bileşiminin standardize olmaması bazı sınırlılıklar oluşturabilmektedir. Türler arasında besin içeriği açısından büyük farklılıklar görülebilmektedir. Ayrıca yetişme ortamındaki çevresel koşullar ağır metal birikimi riskini etkileyebilmektedir [8]. Bu nedenle güvenilir üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve kalite kontrol süreçlerinin dikkatli şekilde yürütülmesi gerektiği belirtilmektedir. Alglerin yüksek besin değerleri ve fonksiyonel özellikleri nedeniyle gelecekte sürdürülebilir beslenme sistemlerinde daha önemli rol oynayabileceği düşünülmektedir [1, 2].

4.1. PROTEİN İÇERİĞİ VE AMİNOASİT PROFİLİ

Algler ve deniz yosunları, yüksek protein içerikleri nedeniyle alternatif protein kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Özellikle mikroalg türlerinin protein oranlarının oldukça yüksek olduğu ve bazı türlerde kuru ağırlığın %50–70'ine kadar ulaşabildiği bildirilmektedir [2, 4]. Bu durum alglerin sürdürülebilir beslenme sistemlerinde stratejik bir protein kaynağı olarak değerlendirilmesine neden olmaktadır. Hayvansal protein üretiminin çevresel yükü göz önünde bulundurulduğunda alg temelli protein kaynaklarının gelecekte daha fazla önem kazanabileceği düşünülmektedir.

Mikroalgler arasında Spirulina ve Chlorella protein açısından en zengin türler arasında gösterilmektedir. Spirulina'nın protein içeriğinin yaklaşık %60–70 düzeyinde olduğu; Chlorella türlerinde ise bu oranın %50'nin üzerinde olabileceği bildirilmektedir [2, 10]. Makroalglerin protein içeriği mikroalglere göre daha düşük olmakla birlikte bazı kırmızı alg türlerinin önemli miktarda protein içerebildiği belirtilmektedir. Özellikle Porphyra

türlerinin protein bakımından diğer makroalg türlerine göre daha zengin olduğu ifade edilmektedir.

Alg proteinlerinin dikkat çeken özelliklerinden biri esansiyel aminoasit profillerinin dengeli olmasıdır. Lösin, izolösin, valin, treonin ve lizin gibi esansiyel aminoasitlerin birçok alg türünde yeterli miktarda bulunduğu bildirilmektedir [4]. Bu durum alg proteinlerinin biyolojik değerini artırmakta ve bitkisel protein kaynakları arasında öne çıkmalarını sağlamaktadır. Bazı çalışmalar alg proteinlerinin aminoasit kompozisyonunun yumurta veya soya proteini ile benzerlik gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Protein sindirilebilirliği açısından değerlendirildiğinde alg türleri arasında farklılıklar bulunabilmektedir. Mikroalglerin hücre duvarı yapısı protein biyoyararlanımını etkileyebilmektedir. Özellikle bazı türlerde kalın hücre duvarı protein sindirilebilirliğini sınırlandırabilmektedir [4]. Bu nedenle mekanik parçalama, fermantasyon veya enzimatik işlemler gibi yöntemlerin protein biyoyararlanımını artırabileceği düşünülmektedir.

Alg proteinlerinin yalnızca beslenme açısından değil; fonksiyonel özellikleri açısından da önemli olduğu belirtilmektedir. Alg kaynaklı bazı peptitlerin antihipertansif, antioksidan ve immünomodülatör etkiler gösterebildiği bildirilmektedir [11]. Özellikle biyolojik aktif peptitlerin kronik hastalık riskinin azaltılması açısından potansiyel yarar sağlayabileceği düşünülmektedir.

Alglerin alternatif protein kaynağı olarak değerlendirilmesinin önemli nedenlerinden biri üretim süreçlerinin çevresel sürdürülebilirlik açısından avantaj sağlamasıdır. Geleneksel hayvansal protein üretimi yüksek su tüketimi, geniş arazi gereksinimi ve yoğun sera gazı emisyonu ile ilişkilendirilirken; alg üretiminin daha düşük çevresel ayak izi oluşturabileceği belirtilmektedir [1]. Ayrıca alglerin hızlı büyüme kapasitesine sahip olması üretim verimliliği açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Son yıllarda bitki temelli beslenme modellerine olan ilginin artması alg proteinlerine yönelik ticari ilgiyi de artırmıştır. Protein tozları, fonksiyonel içecekler, bitkisel et alternatifleri ve besin destek ürünlerinde alg proteinlerinin kullanımının yaygınlaşmaya başladığı görülmektedir [9]. Özellikle vegan ve vejetaryen beslenme modellerinde alternatif protein ihtiyacının karşılanması açısından alg temelli ürünlerin potansiyel taşıdığı düşünülmektedir. Bununla birlikte alg proteinlerinin yaygın kullanımını sınırlandıran bazı faktörler bulunmaktadır. Özellikle yoğun deniz aroması, renk farklılıkları ve bazı türlerde düşük tüketici kabulü ticari kullanım açısından sınırlayıcı olabilmektedir [9]. Ayrıca üretim maliyetlerinin yüksek olması ve işleme teknolojilerinin yeterince gelişmemiş olması da önemli sorunlar arasında gösterilmektedir.

Alg proteinlerinin gelecekte sürdürülebilir beslenme sistemlerinde daha önemli rol oynayabileceği düşünülmektedir. Özellikle çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda alternatif protein kaynaklarına olan ilginin artması, alg temelli ürünlerin geliştirilmesini desteklemektedir. Ancak protein biyoyararlanımı, güvenlik değerlendirmeleri, tüketici kabulü ve uzun dönem sağlık etkileri konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır [8, 10].

4.2. VİTAMİN, MİNERAL VE BİYOAKTİF BİLEŞİK İÇERİĞİ

Algler ve deniz yosunları yalnızca protein içerikleriyle değil; aynı zamanda vitamin, mineral ve biyoaktif bileşik bakımından zengin yapılarıyla da dikkat çekmektedir. Bu

organizmaların yüksek besin yoğunluğuna sahip olmaları sürdürülebilir beslenme sistemleri açısından önem taşımaktadır. Özellikle mikrobesin öğeleri bakımından zengin içerik göstermeleri, alglerin fonksiyonel gıda ve besin destek ürünü olarak değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır [3].

Alglerin önemli vitamin kaynakları arasında yer aldığı bildirilmektedir. Özellikle bazı mikroalg türlerinde B grubu vitaminlerinin yüksek düzeyde bulunabildiği belirtilmektedir. Spirulina ve Chlorella türlerinin B1, B2, B6 ve folat açısından dikkat çekici içerik gösterdiği ifade edilmektedir [10]. Bunun yanında bazı deniz yosunlarının A vitamini prekürsörü olan karotenoidler bakımından zengin olduğu bildirilmektedir. Özellikle beta-karoten içeriğinin antioksidan kapasite üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği düşünülmektedir.

Alglerin mineral içeriği de beslenme açısından önem taşımaktadır. Deniz yosunlarının iyot bakımından doğal kaynaklar arasında yer aldığı bilinmektedir. İyot, tiroid hormonlarının sentezi açısından gerekli bir mineraldir ve özellikle iyot yetersizliği görülen bölgelerde önemli rol oynayabilmektedir [8]. Bunun yanında demir, kalsiyum, magnezyum, çinko ve potasyum gibi mineraller bakımından da zengin oldukları bildirilmektedir.

Demir içeriğinin özellikle bitkisel beslenen bireyler açısından dikkat çekici olduğu düşünülmektedir. Bazı alg türlerinde demir miktarının birçok bitkisel besinden daha yüksek olabildiği belirtilmektedir [3, 5]. Ayrıca kalsiyum ve magnezyum içeriklerinin kemik sağlığı açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Ancak minerallerin biyoyararlanım düzeylerinin türler arasında değişkenlik gösterebileceği bildirilmektedir.

Alglerde bulunan karotenoidler, fenolik bileşikler ve fikobiliproteinler gibi biyoaktif maddeler sağlık açısından dikkat çekmektedir. Özellikle astaksantin, lutein ve beta-karoten gibi karotenoidlerin güçlü antioksidan özellik gösterebildiği belirtilmektedir [10, 11]. Bu bileşiklerin serbest radikal oluşumunu azaltarak hücresel hasarın önlenmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Fikosiyanin, özellikle Spirulina türlerinde bulunan önemli biyoaktif bileşiklerden biridir. Yapılan çalışmalar fikosiyaninin antiinflamatuvar ve antioksidan özellikler gösterebildiğini ortaya koymaktadır [10]. Bunun yanında bağışıklık sistemi üzerinde düzenleyici etkiler oluşturabileceği düşünülmektedir. Bazı araştırmalar alg kaynaklı biyoaktif bileşiklerin kardiyovasküler sağlık üzerinde olumlu etkiler sağlayabileceğini bildirmektedir.

Deniz yosunlarında bulunan sülfatlanmış polisakkaritlerin de sağlık açısından önemli olabileceği düşünülmektedir. Fucoidan, alginat ve carrageenan gibi bileşiklerin antiinflamatuvar, antiviral ve prebiyotik özellik gösterebildiği bildirilmektedir [5, 11]. Özellikle bağırsak mikrobiyotası üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle son yıllarda bu bileşiklere yönelik ilgi artmıştır.

Alglerin antioksidan kapasitesinin yüksek olması oksidatif stres ile ilişkili hastalıklar açısından önemli görülmektedir. Oksidatif stresin kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, obezite ve bazı nörodejeneratif hastalıklarla ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle antioksidan bileşiklerden zengin alglerin koruyucu sağlık etkileri oluşturabileceği düşünülmektedir [11].

Bununla birlikte alglerin mineral içeriği çevresel koşullardan etkilenebilmektedir. Özellikle bazı türlerde ağır metal birikimi görülebileceği bildirilmektedir. Arsenik, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metallerin deniz ortamından alg yapısına geçebileceği belirtilmektedir [8]. Bu nedenle güvenilir üretim alanlarının seçilmesi ve kalite kontrol süreçlerinin dikkatli yürütülmesi büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak algler ve deniz yosunları vitamin, mineral ve biyoaktif bileşik bakımından zengin içerikleri sayesinde sürdürülebilir beslenme sistemlerinde önemli potansiyele sahip organizmalar arasında değerlendirilmektedir. Özellikle antioksidan ve antiinflamatuvar özellik gösteren bileşikler açısından zengin olmaları sağlık üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceklerini düşündürmektedir. Ancak biyoyararlanım, güvenlik ve uzun dönem tüketim etkileri konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu belirtilmektedir [8, 10].

5. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE ÇEVRESEL ETKİLER

Sürdürülebilir beslenme kavramı, günümüzde artan nüfus, doğal kaynakların azalması ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlarla birlikte daha fazla önem kazanmaktadır. Geleneksel hayvansal protein üretiminin yüksek çevresel maliyet oluşturduğu bilinmektedir. Özellikle sera gazı emisyonları, yoğun su tüketimi, ormansızlaşma ve geniş tarım alanı gereksinimi çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli sorunlar oluşturmaktadır [1]. Bu nedenle çevresel etkisi daha düşük alternatif protein kaynaklarının geliştirilmesi geleceğin gıda sistemleri açısından önemli görülmektedir.

Algler ve deniz yosunları, düşük çevresel ayak izleri nedeniyle sürdürülebilir beslenme sistemlerinde dikkat çeken biyolojik kaynaklar arasında yer almaktadır. Alg üretiminin geleneksel hayvansal üretime kıyasla daha düşük su ve arazi gereksinimi oluşturabileceği bildirilmektedir [1, 2]. Özellikle bazı mikroalg türlerinin kontrollü biyoreaktör sistemlerinde yetiştirilebilmesi üretim verimliliğini artırabilmektedir.

Hayvansal protein üretiminin yüksek miktarda sera gazı emisyonu oluşturduğu bilinmektedir. Özellikle metan ve karbondioksit emisyonlarının iklim değişikliği üzerinde önemli etkiler oluşturduğu belirtilmektedir. Buna karşılık alglerin fotosentetik özellik göstermeleri nedeniyle karbon dioksit tutulumuna katkı sağlayabilecekleri düşünülmektedir [1, 7]. Bu durum alg üretiminin karbon yönetimi açısından önemli avantajlar sunabileceğini göstermektedir.

Alglerin hızlı büyüme kapasitesine sahip olmaları üretim verimliliği açısından önemli görülmektedir. Bazı mikroalg türlerinin kısa süre içerisinde yüksek biyokütle oluşturabildiği bildirilmektedir. Ayrıca geleneksel tarım alanlarına ihtiyaç duymamaları, üretim süreçlerinde çevresel baskının azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir [4]. Bu durum özellikle tarım alanlarının sınırlı olduğu bölgelerde alternatif üretim modeli oluşturabilmektedir.

Deniz yosunlarının yetiştirilmesi sırasında tatlı su kullanımına olan ihtiyacın düşük olması sürdürülebilirlik açısından dikkat çekmektedir. Küresel su kaynaklarının azalması nedeniyle düşük su tüketimi gerektiren üretim sistemleri giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Deniz yosunlarının tuzlu su ortamında yetiştirilebilmesi bu açıdan önemli avantaj sağlamaktadır [7].

Alg üretiminin çevresel avantajlarından biri de atık yönetimi süreçlerine katkı sağlayabilmesidir. Bazı çalışmalar alglerin atık sulardaki azot ve fosfor gibi bileşenleri kullanabildiğini göstermektedir. Bu durum hem biyokütle üretimine katkı sağlamakta hem de çevresel kirliliğin azaltılmasına yardımcı olabilmektedir [10]. Ayrıca bazı mikroalg türlerinin biyoyakıt üretiminde kullanılabilmesi sürdürülebilir enerji sistemleri açısından da dikkat çekmektedir.

Sürdürülebilir gıda sistemleri açısından biyolojik çeşitliliğin korunması büyük önem taşımaktadır. Yoğun hayvancılık faaliyetlerinin ekosistem üzerinde baskı oluşturabildiği bilinmektedir. Alg üretiminin ise daha kontrollü sistemlerde gerçekleştirilebilmesi nedeniyle çevresel bozulmanın azaltılmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir [7]. Bunun yanında deniz yosunu çiftliklerinin bazı deniz ekosistemlerinde karbon tutulumu ve habitat oluşumu açısından olumlu etkiler sağlayabileceği bildirilmektedir.

Bununla birlikte alg üretiminin tamamen sorunsuz olmadığı da belirtilmektedir. Özellikle büyük ölçekli üretim sistemlerinde enerji gereksiniminin yüksek olabileceği ifade edilmektedir. Bazı biyoreaktör sistemlerinin enerji tüketimi üretim maliyetlerini artırabilmektedir [4]. Ayrıca üretim süreçlerinde kullanılan teknolojilerin ekonomik sürdürülebilirliği konusunda daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğu belirtilmektedir.

Alg üretiminde kalite kontrol ve güvenlik süreçleri de önemli görülmektedir. Çevresel kirleticiler, ağır metal birikimi ve mikrobiyolojik riskler üretim süreçlerinde dikkat edilmesi gereken unsurlar arasında yer almaktadır [8]. Bu nedenle güvenilir üretim alanlarının belirlenmesi ve uluslararası standartlara uygun kalite kontrol sistemlerinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Sonuç olarak algler ve deniz yosunları düşük çevresel ayak izi, hızlı büyüme kapasiteleri, karbon tutulumuna katkıları ve düşük kaynak gereksinimleri nedeniyle sürdürülebilir beslenme sistemleri açısından önemli potansiyele sahip organizmalar arasında değerlendirilmektedir. Ancak ekonomik sürdürülebilirlik, enerji kullanımı ve üretim standardizasyonu ile ilgili sorunların çözülmesi gelecekteki kullanım alanlarının genişlemesi açısından önemli görülmektedir [1, 10].

6. ALG VE DENİZ YOSUNLARININ SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Algler ve deniz yosunları, yüksek besin değerlerinin yanı sıra içerdikleri biyoaktif bileşikler nedeniyle sağlık üzerinde olumlu etkiler oluşturabilecek fonksiyonel besin kaynakları arasında değerlendirilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, alg kaynaklı bileşiklerin antioksidan, antiinflamatuvar, antihipertansif, hipolipidemik ve immünomodülatör etkiler gösterebileceğini ortaya koymaktadır [5, 11]. Bu nedenle alglerin yalnızca alternatif protein kaynağı olarak değil; koruyucu beslenme açısından da önemli potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir.

Alglerde bulunan polifenoller, karotenoidler, fikobiliproteinler ve omega-3 yağ asitleri güçlü antioksidan özellik gösterebilmektedir. Oksidatif stresin diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, obezite ve nörodejeneratif hastalıklarla ilişkili olduğu bilinmektedir. Alg kaynaklı antioksidan bileşiklerin serbest radikal oluşumunu azaltarak hücresel hasarın önlenmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir [11]. Özellikle astaksantin ve fikosiyanin gibi bileşiklerin antioksidan kapasitesinin yüksek olduğu bildirilmektedir.

Kronik düşük dereceli inflamasyonun birçok metabolik hastalığın gelişiminde rol oynadığı bilinmektedir. Alglerde bulunan bazı biyoaktif bileşiklerin inflamatuvar

yolakları baskılayabileceği ve sitokin üretimini azaltabileceği belirtilmektedir [11]. Bu durum özellikle obezite, insülin direnci ve kardiyometabolik hastalıklar açısından önemli görülmektedir. Bazı çalışmalar deniz yosunu kaynaklı polisakkaritlerin antiinflamatuvar etkiler gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Alglerin kardiyovasküler sağlık üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceği düşünülmektedir. Özellikle omega-3 yağ asitleri bakımından zengin mikroalglerin trigliserid düzeylerini azaltabileceği ve inflamasyon kontrolüne katkı sağlayabileceği bildirilmektedir [3, 11]. Bunun yanında bazı çalışmalar alg tüketiminin kan basıncı ve lipid profili üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Alg kaynaklı peptitlerin antihipertansif özellik gösterebildiği belirtilmektedir.

Bağırsak mikrobiyotası ile sağlık arasındaki ilişkinin anlaşılmasıyla birlikte alglerin prebiyotik etkileri daha fazla dikkat çekmeye başlamıştır. Alglerde bulunan çözünür lifler ve polisakkaritlerin faydalı bağırsak bakterilerinin gelişimini destekleyebileceği düşünülmektedir [5]. Özellikle kısa zincirli yağ asidi üretiminin desteklenmesi bağırsak bariyer bütünlüğü ve inflamasyon kontrolü açısından önemli görülmektedir.

Alglerin glisemik kontrol üzerinde de olumlu etkiler oluşturabileceği belirtilmektedir. Lif içeriğinin yüksek olması glukoz emilimini yavaşlatabilmekte ve postprandiyal glukoz dalgalanmalarını azaltabilmektedir. Bunun yanında bazı alg bileşiklerinin insülin duyarlılığını destekleyebileceği düşünülmektedir [6]. Bu nedenle alglerin diyabet ve metabolik sendrom açısından potansiyel yarar sağlayabileceği bildirilmektedir.

Bazı araştırmalar alglerin bağışıklık sistemi üzerinde düzenleyici etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Özellikle sülfatlanmış polisakkaritlerin antiviral ve immünomodülatör özellik gösterebildiği belirtilmektedir [11]. Bunun yanında bazı alg bileşiklerinin doğal öldürücü hücre aktivitesini artırabileceği ve bağışıklık yanıtını destekleyebileceği düşünülmektedir.

Alglerin kilo kontrolü açısından da yararlı olabileceği bildirilmektedir. Lif içeriğinin yüksek olması nedeniyle tokluk hissini artırabileceği ve enerji alımını azaltabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında düşük enerji yoğunluğuna sahip olmaları sürdürülebilir kilo yönetimi açısından avantaj sağlayabilmektedir [6].

Özellikle obezite prevalansının arttığı günümüzde düşük kalorili ancak besin yoğunluğu yüksek alternatiflerin önemi artmaktadır.

Bununla birlikte alg tüketiminin güvenliği konusunda dikkat edilmesi gereken noktalar bulunmaktadır. Bazı alg türlerinde ağır metal birikimi görülebileceği ve aşırı iyot tüketiminin tiroid fonksiyonlarını etkileyebileceği belirtilmektedir [8]. Bu nedenle kontrollü üretim süreçleri ve güvenilir kaynaklardan elde edilen ürünlerin tercih edilmesi önem taşımaktadır.

Mevcut literatür değerlendirildiğinde algler ve deniz yosunlarının sağlık üzerinde çeşitli olumlu etkiler oluşturabileceği görülmektedir. Ancak birçok çalışmanın deneysel veya kısa süreli olması nedeniyle uzun dönem klinik etkilerin daha ayrıntılı araştırılması gerektiği belirtilmektedir. Özellikle biyoyararlanım, güvenlik ve optimal tüketim miktarları konusunda daha fazla randomize kontrollü çalışmaya ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır [5, 8].

7. TÜKETİCİ KABULÜ VE KULLANIMDAKİ SINIRLILIKLAR

Algler ve deniz yosunları sürdürülebilir beslenme açısından önemli potansiyele sahip olmalarına rağmen yaygın tüketimleri önünde bazı sınırlılıklar bulunmaktadır. Özellikle tüketici alışkanlıkları, duyusal özellikler, üretim maliyetleri ve güvenlik ile ilgili endişelerin alg temelli ürünlerin kullanımını etkileyebildiği belirtilmektedir [9]. Bu nedenle yalnızca besin değeri açısından değil; tüketici davranışları ve endüstriyel uygulanabilirlik açısından da değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Alg temelli ürünlerde en önemli sorunlardan biri duyusal özelliklerdir. Özellikle yoğun deniz aroması, karakteristik tat ve koyu yeşil renk gibi özelliklerin bazı tüketiciler tarafından olumsuz algılanabildiği bildirilmektedir [9]. Geleneksel beslenme alışkanlıklarında alg tüketiminin yaygın olmadığı toplumlarda tüketici kabulünün daha düşük olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle ürün geliştirme süreçlerinde tat, aroma ve tekstür özelliklerinin iyileştirilmesinin önemli olduğu belirtilmektedir.

Tüketici kabulü üzerinde kültürel faktörlerin de etkili olduğu bilinmektedir. Özellikle Japonya, Kore ve Çin gibi Asya ülkelerinde deniz yosunlarının geleneksel beslenmede uzun yıllardır yer aldığı görülmektedir. Buna karşılık Batı toplumlarında alg tüketiminin daha sınırlı olduğu bildirilmektedir [7, 9]. Ancak son yıllarda sürdürülebilir beslenme, vegan beslenme modelleri ve fonksiyonel gıdalara yönelik ilginin artmasıyla birlikte alg temelli ürünlere olan farkındalığın yükseldiği belirtilmektedir.

Alg üretiminin ekonomik boyutu da önemli sınırlılıklar arasında yer almaktadır. Büyük ölçekli üretim sistemlerinin yüksek maliyet gerektirebildiği ve bazı üretim teknolojilerinin ekonomik açıdan sürdürülebilir olmadığı bildirilmektedir [4]. Özellikle mikroalg üretiminde kullanılan biyoreaktör sistemlerinin enerji tüketimi üretim maliyetlerini artırabilmektedir. Bu nedenle daha verimli ve düşük maliyetli üretim teknolojilerinin geliştirilmesine ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

İşleme teknolojileri de alg temelli ürünlerin kullanımını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Alglerin kurutulması, öğütülmesi, ekstraksiyon işlemleri ve ürün formülasyonları sırasında besin kayıpları meydana gelebilmektedir [4]. Bunun yanında bazı işleme yöntemlerinin duyusal özellikleri olumsuz etkileyebileceği belirtilmektedir. Bu nedenle hem besin değerini koruyan hem de tüketici kabulünü artıran işleme tekniklerinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Alglerin güvenliği ile ilgili konular da dikkat çekmektedir. Özellikle bazı deniz yosunlarının çevresel kirleticileri ve ağır metalleri biriktirebildiği bildirilmektedir. Arsenik, kadmiyum, cıva ve kurşun gibi ağır metallerin insan sağlığı açısından risk oluşturabileceği belirtilmektedir [8]. Bu nedenle güvenilir üretim alanlarının belirlenmesi ve düzenli kalite kontrol analizlerinin yapılması büyük önem taşımaktadır.

Bazı alg türlerinde iyot içeriğinin oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. Aşırı iyot tüketiminin tiroid fonksiyonlarını olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir. Bu nedenle özellikle düzenli deniz yosunu tüketen bireylerde iyot alımının değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir [8]. Ayrıca alerjik reaksiyon riski ve bazı türlerde biyolojik toksin varlığı konusunda da dikkatli olunması gerektiği bildirilmektedir.

Yasal düzenlemeler ve standardizasyon eksiklikleri de alg sektörünün gelişimini etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Farklı ülkelerde alg temelli ürünlerin üretim ve pazarlama süreçlerine ilişkin düzenlemelerin değişkenlik gösterebildiği belirtilmektedir [10]. Bu durum uluslararası ticaret ve tüketici güvenliği açısından bazı sorunlara neden olabilmektedir.

Bununla birlikte son yıllarda alg temelli ürünlere yönelik ilginin arttığı görülmektedir. Protein destek ürünleri, bitkisel et alternatifleri, fonksiyonel içecekler ve besin destekleri içerisinde alg kullanımının yaygınlaşmaya başladığı bildirilmektedir. Özellikle sürdürülebilir beslenme kavramının önem kazanmasıyla birlikte gelecekte alg temelli ürünlerin daha geniş tüketici kitlesine ulaşabileceği düşünülmektedir [9].

Sonuç olarak algler ve deniz yosunları yüksek besin değeri ve çevresel avantajları nedeniyle sürdürülebilir beslenme açısından önemli potansiyele sahip olsalar da duyusal özellikler, üretim maliyetleri, güvenlik sorunları ve tüketici alışkanlıkları gibi çeşitli sınırlılıklarla karşı karşıya bulunmaktadır. Bu nedenle tüketici kabulünü artıracak ürün geliştirme çalışmalarının yapılması, güvenlik standartlarının güçlendirilmesi ve ekonomik üretim modellerinin geliştirilmesi gelecekteki kullanım alanlarının genişlemesi açısından önemli görülmektedir [4, 9].

8. TARTIŞMA

Sürdürülebilir beslenme sistemlerinin geliştirilmesi, artan dünya nüfusu ve çevresel sorunlar nedeniyle günümüzde giderek daha önemli hâle gelmektedir. Geleneksel hayvansal protein üretiminin yüksek sera gazı emisyonları, yoğun su kullanımı ve geniş arazi gereksinimi ile ilişkili olması alternatif protein kaynaklarına yönelik ilgiyi artırmıştır [1, 2]. Bu bağlamda algler ve deniz yosunları; yüksek besin değerleri, çevresel avantajları ve fonksiyonel özellikleri nedeniyle sürdürülebilir beslenme açısından dikkat çeken biyolojik kaynaklar arasında değerlendirilmektedir.

Mevcut literatür incelendiğinde alglerin özellikle protein içeriği açısından önemli potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Mikroalg türlerinin yüksek protein oranına sahip olması ve esansiyel aminoasit profillerinin dengeli olması alternatif protein kaynakları arasında öne çıkmalarını sağlamaktadır [2, 4]. Özellikle bitki temelli beslenme modellerine yönelik ilginin artması alg proteinlerinin ticari önemini artırmıştır. Bununla birlikte protein biyoyararlanımı ve sindirilebilirlik konusunda türler arasında farklılıklar bulunabileceği belirtilmektedir.

Alglerin yalnızca protein kaynağı olarak değil; aynı zamanda fonksiyonel gıda bileşeni olarak da önemli potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. İçerdikleri omega-3 yağ asitleri, polifenoller, karotenoidler ve sülfatlanmış polisakkaritler sayesinde antioksidan ve antiinflamatuvar etkiler gösterebildikleri bildirilmektedir [11]. Özellikle kardiyometabolik sağlık, bağışıklık sistemi ve bağırsak mikrobiyotası üzerinde olumlu etkiler oluşturabilecekleri düşünülmektedir.

Bağırsak mikrobiyotası ile alg tüketimi arasındaki ilişki son yıllarda dikkat çeken araştırma alanlarından biri hâline gelmiştir. Alglerde bulunan çözünür liflerin ve polisakkaritlerin prebiyotik özellik gösterebileceği belirtilmektedir. Bu durum bağırsak bariyer bütünlüğünün korunmasına ve inflamasyonun azaltılmasına katkı

sağlayabilmektedir [5]. Ancak bu etkilerin uzun dönem klinik sonuçlarının daha ayrıntılı araştırılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Alglerin çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunduğu görülmektedir. Özellikle düşük arazi gereksinimi, düşük su tüketimi ve karbon dioksit tutulumuna katkı sağlayabilmeleri çevresel açıdan dikkat çekici özellikler arasında yer almaktadır [1]. Bunun yanında bazı alg türlerinin atık su arıtımında kullanılabilmesi çevresel yükün azaltılması açısından önemli görülmektedir.

Bununla birlikte alg üretiminin tamamen sorunsuz olmadığı da belirtilmektedir. Özellikle büyük ölçekli üretim sistemlerinde enerji gereksiniminin yüksek olması ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemli sınırlılıklar oluşturabilmektedir [4]. Ayrıca üretim maliyetlerinin yüksek olması alg temelli ürünlerin yaygın kullanımını sınırlandırabilmektedir. Bu nedenle daha verimli üretim teknolojilerinin geliştirilmesine ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

Tüketici kabulü de alg temelli ürünlerin yaygınlaşmasını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Özellikle yoğun deniz aroması, koyu renk ve farklı tekstürel özelliklerin bazı tüketiciler tarafından olumsuz algılanabildiği bildirilmektedir [9]. Bu nedenle tüketici beklentilerine uygun ürün geliştirme çalışmalarının yapılmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

Alglerin güvenliği ile ilgili konular da dikkat çekmektedir. Bazı alg türlerinde ağır metal birikimi görülebileceği ve yüksek iyot içeriğinin sağlık açısından risk oluşturabileceği belirtilmektedir [8]. Bu nedenle kalite kontrol süreçlerinin dikkatli şekilde yürütülmesi ve güvenilir üretim sistemlerinin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Literatürde alglerin sağlık üzerindeki olumlu etkilerini destekleyen çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen mevcut araştırmaların önemli bir kısmının deneysel veya kısa süreli olduğu görülmektedir. Uzun dönem randomize kontrollü çalışmaların sınırlı olması nedeniyle alg tüketiminin uzun vadeli etkileri konusunda daha fazla bilimsel veriye ihtiyaç olduğu düşünülmektedir [3, 8]. Özellikle biyoyararlanım, optimal tüketim miktarı ve güvenlik konularının daha ayrıntılı incelenmesi gerektiği belirtilmektedir.

Sonuç olarak mevcut literatür değerlendirildiğinde algler ve deniz yosunlarının sürdürülebilir beslenme sistemlerinde önemli rol oynayabilecek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Yüksek besin değerleri, çevresel avantajları ve fonksiyonel özellikleri sayesinde geleceğin alternatif protein kaynakları arasında yer alabilecekleri düşünülmektedir. Ancak üretim maliyetleri, tüketici kabulü, güvenlik sorunları ve uzun dönem klinik etkiler ile ilgili daha kapsamlı çalışmalara ihtiyaç olduğu sonucuna varılmaktadır [1, 9].

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Algler ve deniz yosunları, sürdürülebilir beslenme sistemleri açısından son yıllarda giderek daha fazla önem kazanan alternatif besin kaynakları arasında yer almaktadır. Artan dünya nüfusu, iklim değişikliği, doğal kaynakların azalması ve geleneksel hayvansal üretimin çevresel yükü alternatif protein kaynaklarına yönelik ilgiyi artırmıştır [1]. Bu bağlamda alglerin yüksek besin değerine sahip olmaları, hızlı üretim kapasitesi göstermeleri ve çevresel sürdürülebilirlik açısından avantaj sağlamaları dikkat çekmektedir.

Mevcut literatür değerlendirildiğinde alglerin protein, vitamin, mineral, omega-3 yağ asitleri, diyet lifi ve çeşitli biyoaktif bileşikler bakımından zengin içerik gösterdiği görülmektedir. Özellikle bazı mikroalg türlerinin yüksek protein oranına sahip olması sürdürülebilir alternatif protein kaynakları arasında öne çıkmalarını sağlamaktadır [2]. Bunun yanında antioksidan ve antiinflamatuvar özellik gösterebilen bileşikler içermeleri nedeniyle fonksiyonel gıda potansiyeline sahip oldukları düşünülmektedir.

Alglerin çevresel etkileri incelendiğinde geleneksel hayvansal protein üretimine kıyasla daha düşük su tüketimi, daha az arazi gereksinimi ve daha düşük sera gazı emisyonu oluşturabilecekleri bildirilmektedir [1, 7]. Ayrıca karbon dioksit tutulumuna katkı sağlayabilmeleri sürdürülebilir gıda sistemleri açısından önemli avantajlar arasında değerlendirilmektedir. Bu nedenle alg üretiminin çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda gelecekte daha önemli hâle gelebileceği düşünülmektedir.

Alglerin sağlık üzerindeki potansiyel etkileri de dikkat çekmektedir. Antioksidan, antiinflamatuvar, prebiyotik ve kardiyometabolik sağlık üzerinde olumlu etkiler oluşturabilecek bileşikler içermeleri nedeniyle koruyucu beslenme açısından önemli olabilecekleri belirtilmektedir [3, 5]. Bunun yanında bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkilerinin son yıllarda daha fazla araştırıldığı görülmektedir.

Bununla birlikte alg ve deniz yosunlarının yaygın kullanımını sınırlandıran bazı faktörler bulunmaktadır. Özellikle yoğun deniz aroması, renk farklılıkları ve tekstürel özelliklerin tüketici kabulünü etkileyebileceği düşünülmektedir. Ayrıca üretim maliyetleri, standardizasyon eksiklikleri ve bazı türlerde ağır metal birikimi riski önemli sınırlılıklar arasında yer almaktadır [8, 9]. Bu nedenle güvenilir üretim sistemlerinin geliştirilmesi ve kalite kontrol süreçlerinin güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Mevcut çalışmaların önemli bir kısmının deneysel veya kısa süreli olması nedeniyle uzun dönem sağlık etkilerinin daha ayrıntılı araştırılması gerektiği düşünülmektedir. Özellikle biyoyararlanım, optimal tüketim miktarı, güvenlik değerlendirmeleri ve farklı alg türlerinin sağlık üzerindeki etkileri konusunda daha fazla randomize kontrollü çalışmaya ihtiyaç olduğu belirtilmektedir [8, 11].

Gelecekte yapılacak çalışmalarda tüketici kabulünü artıracak yeni ürün formülasyonlarının geliştirilmesi, sürdürülebilir üretim teknolojilerinin iyileştirilmesi ve ekonomik üretim modellerinin oluşturulması önemli görülmektedir. Bunun yanında alglerin bağırsak mikrobiyotası, immün sistem ve kronik hastalıklar üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Sonuç olarak algler ve deniz yosunları; yüksek besin değerleri, çevresel avantajları ve fonksiyonel özellikleri sayesinde sürdürülebilir beslenme sistemlerinde önemli potansiyele sahip organizmalar arasında değerlendirilmektedir. Özellikle alternatif protein kaynağı olarak gelecekte daha yaygın kullanılabilecekleri düşünülmektedir. Ancak bu potansiyelin etkin şekilde değerlendirilebilmesi için üretim, güvenlik, tüketici kabulü ve uzun dönem sağlık etkileri ile ilgili daha kapsamlı bilimsel çalışmalara ihtiyaç olduğu sonucuna varılmaktadır [1, 10].

10. KAYNAKÇA

[1] De Luca, M., Yang, H., Blomme, A., & Dejonghe, W. (2022). Microalgae for sustainable food systems: Opportunities and challenges. Frontiers in Nutrition, 9, 867801. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.867801

[2] Torres-Tiji, Y., Fields, F. J., & Mayfield, S. P. (2020). Microalgae as a future food source. Biotechnology Advances, 41, 107536. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107536

[3] Wells, M. L., Potin, P., Craigie, J. S., Raven, J. A., Merchant, S. S., Helliwell, K. E., ... & Brawley, S. H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources. The Journal of Nutrition, 147(3), 219–232. https://doi.org/10.3945/jn.116.238543

[4] Grossmann, L., Hinrichs, J., & Weiss, J. (2020). Cultivation and downstream processing of microalgae and cyanobacteria to generate protein-based technofunctional food ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60(17), 2961–2989. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1643735

[5] Shannon, E., & Abu-Ghannam, N. (2019). Seaweeds as nutraceuticals for health and nutrition. Phycologia, 58(5), 563–577. https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1640533

[6] Gómez-Zorita, S., González-Arceo, M., Trepiana, J., Aguirre, L., & Portillo, M. P. (2020). Anti-obesity effects of macroalgae. Nutrients, 12(8), 2378. https://doi.org/10.3390/nu12082378

[7] Ferdouse, F., Holdt, S. L., Smith, R., Murúa, P., & Yang, Z. (2018). The global status of seaweed production, trade and utilization. FAO Globefish Research Programme, 124, 1–120.

[8] Cherry, P., O'Hara, C., Magee, P. J., McSorley, E. M., & Allsopp, P. J. (2019). Risks and benefits of consuming edible seaweeds. Nutrition Reviews, 77(5), 307–329. https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy066

[9] Onwezen, M. C., Bouwman, E. P., Reinders, M. J., & Dagevos, H. (2021). A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins. Appetite, 159, 105058. https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.105058

[10] Zepka, L. Q., Jacob-Lopes, E., Goldbeck, R., & Roca, M. (2021). Microalgae biotechnology for food, health and high value products. Trends in Food Science & Technology, 112, 121–134. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.042

[11] Lomartire, S., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. (2021). An overview of potential seaweed-derived bioactive compounds for pharmaceutical applications. Marine Drugs, 19(6), 341. https://doi.org/10.3390/md19060341

Cladophora sp. ve *Microcystis* sp.) ALGLERİNİN BİYOLOJİK GÜBRE OLARAK, *Melissa officinalis* L. BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE BÜYÜMESİ ÜZERİNE ETKİSİ

THE EFFECT of *Cladophora* sp. and *Microcystis* sp. ALGAE AS BİOLOGİCAL FERTİLİZERS ON THE DEVELOPMENT AND GROWTH Of *Melissa officinalis* L.

Meryem Karaçam[2], Göksal SEZEN[1], Çiğdem KÜÇÜK[1], Fatih Duman[3]

[1]Harran University Faculty of Arts and Scıences Department of Biology Şanlıurfa, Türkiye

[2]Harran University Graduate School of Natural & Applied Sciences Şanlıurfa, Türkiye

[3]Erciyes University Faculty of Scıences Department of Biology Kayseri, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, tıbbi ve aromatik öneme sahip oğul otu (*Melissa officinalis* L.) bitkisinin gelişimi ve büyümesi üzerine *Cladophora* sp. ve *Microcystis* sp. alglerinden elde edilen biyolojik gübrelerin etkisi araştırılmıştır. Alg gübreleri, kontrol dahil altı farklı kuru dozda (%0,2; %0,4; %0,6; %0,8; %1,0) ve bu dozların %50 + %50 oranındaki karışımları şeklinde hazırlanarak toprağa sıvı formda üç kez uygulanmıştır. Deneme, Harran Üniversitesi Biyoloji Bölümü serasında 7 litrelik saksılarda, üç tekerrürlü ve tamamen tesadüfi desenle 13 Ekim 2022 - 12 Haziran 2023 tarihleri arasında yürütülmüştür. Çalışmada bitki boyu (kök hariç), kök ve yeşil aksamın yaş/kuru ağırlıkları, dal ve yaprak sayıları ile klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karotenoid içerikleri ölçülmüş; veriler tek yönlü varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, uygulamalar arasında incelenen tüm parametrelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ortaya koymuştur ($p < 0,05$). En yüksek performanslar şu dozlarda elde edilmiştir: CM3 dozunda (*Cladophora* sp. 0,75 + *Microcystis* sp. 0,375) bitki boyunda %30,84 ve yaprak sayısında %92,31 artış; CM1 dozunda kök yaş ağırlığında %244,44 artış; C3 dozunda (*Cladophora* sp. 1,5) kök kuru ağırlığında %174,23 artış; M4 dozunda (*Microcystis* sp. 1,0) yeşil aksam yaş ve kuru ağırlığında sırasıyla %111,52 ve %181,09 artış; M3 dozunda dal sayısında %99,68 artış; C1 dozunda (*Cladophora* sp. 0,5) klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil içerikte sırasıyla %57,92, %61,64 ve %60,42 artış. Bulgular, *Cladophora* sp. ve *Microcystis* sp. alg gübrelerinin, özellikle karışım uygulamalarının, oğul otu yetiştiriciliğinde organik ve sürdürülebilir tarım için etkili ve çevre dostu bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Bitki Gelişimi, Makro alg, Karışık Alg Kültürü, Mikro alg, Oğul otu

Abstract

This study investigated the effects of biological fertilizers derived from *Cladophora* sp. and *Microcystis* sp. algae on the development and growth of lemon balm (*Melissa officinalis* L.), a plant with significant medicinal and aromatic value. Algal fertilizers were prepared at six different dry matter concentrations (0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%) including a control group, and as 50% + 50% mixtures of these concentrations, then applied to the soil in liquid form three times. The experiment was conducted in the greenhouse of the Biology Department at Harran University between 13 October 2022 and 12 June 2023, using 7-liter pots in a completely randomized design with three replicates. During the study, plant height (excluding roots), fresh and dry weights of roots and aboveground parts, number of stems and leaves, chlorophyll-a, chlorophyll-b, total chlorophyll, and carotenoid contents were measured. Data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test. Results revealed statistically significant differences ($p < 0.05$) among treatments for all parameters examined. The highest performances were obtained as follows: CM3 dose (*Cladophora* sp. 0.75 + *Microcystis* sp. 0.375) with 30.84% increase in plant height and 92.31% increase in leaf number; CM1 dose with 244.44% increase in root fresh weight; C3 dose (*Cladophora* sp. 1.5) with 174.23% increase in root dry weight; M4 dose (*Microcystis* sp. 1.0) with 111.52% and 181.09% increases in aboveground fresh and dry weights, respectively; M3 dose with 99.68% increase in stem number; and C1 dose (*Cladophora* sp. 0.5) with 57.92%, 61.64%, and 60.42% increases in chlorophyll-a, chlorophyll-b, and total chlorophyll contents, respectively. These findings demonstrate that *Cladophora* sp. and *Microcystis* sp. algal fertilizers, particularly their combinations, represent an effective, environmentally friendly alternative for organic and sustainable agriculture in lemon balm cultivation.

Keywords: Plant Growth, Macroalgae, Mixed Algal Culture, Microalgae, Lemon Balm

1. Giriş

Tıbbi ve aromatik bitkiler, farmakolojik ve antioksidan özellikleri nedeniyle geleneksel tıptan gıda, ilaç ve kozmetik sektörlerine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Oğul otu (*Melissa officinalis* L.; Lamiaceae), sedatif, antiviral, antioksidan ve antispazmodik etkileriyle öne çıkan önemli tıbbi bitki türlerinden biridir. Artan küresel talep, verimli ve kaliteli üretim ihtiyacını ön plana çıkarmakta; ancak yoğun kimyasal gübre kullanımı toprak yapısını bozmakta, çevresel kirliliğe neden olmakta ve bitkideki ikincil metabolit birikimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Farruggia et al., 2025; Jamshidi-Kia et al., 2024).

Bu sorunlara alternatif olarak, sürdürülebilir tarım uygulamalarında mikroalgler ve siyanobakteriler biyogübre ve biyostimülan olarak giderek daha fazla tercih edilmektedir. *Cladophora* sp. gibi makroalgler ile *Microcystis* sp. gibi siyanobakteriler; yüksek protein, amino asit, fitohormon (sitokinin, gibberellin), vitamin ve makro-mikro element içeriği sayesinde bitki büyümesini teşvik etmekte, besin kullanım etkinliğini artırmakta ve toprak mikrobiyal aktivitesini iyileştirmektedir (Świca et al., 2026; Ričkienė et al., 2025). *Cladophora* türleri tatlı sularda yüksek biyokütle üretimiyle kolay hasat edilebilirken, *Microcystis* sp. nitrojen fiksasyonu ve biyoaktif bileşenleri ile bitki gelişimine katkı sağlamaktadır.

Önceki çalışmalar, *Chlorella vulgaris* ekstrelerinin *Mentha spicata*'da uçucu yağ verimi, karvon ve limonene içeriği ile antioksidan aktiviteyi önemli ölçüde artırdığını; *Cladophora glomerata* preparatlarının ise farklı bitkilerde büyüme parametrelerini ve stres toleransını iyileştirdiğini göstermiştir (Jamshidi-Kia et al., 2024; Ričkienė et al., 2025). Benzer şekilde, *Ascophyllum nodosum*, fulvik asit ve protein hidrolizatı içeren biyostimülanların *Melissa officinalis*'te biyokütle artışı ve rosmarinik asit içeriğini olumlu etkilediği belirtilmiştir (Farruggia et al., 2025). Buna karşın, *Cladophora* sp. ve *Microcystis* sp. alglerinin, özellikle bu iki türün karışımının oğul otu üzerindeki biyogübre etkileri literatürde yeterince araştırılmamıştır.

Bu çalışma, *Cladophora* sp. ve *Microcystis* sp. alglerinden elde edilen biyolojik gübrelerin farklı dozlarda ve karışım oranlarında *Melissa officinalis* L. bitkisinin vejetatif gelişimi, biyokütle üretimi ve temel büyüme parametreleri üzerine etkilerini belirlemeyi amaçlamıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneme Yeri, Bitki Materyali ve Deneme Deseni

Bu araştırma, Harran Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü serasında saksı denemesi olarak yürütülmüştür. Deneme, Ekim 2022 - Haziran 2023 tarihleri arasında Şanlıurfa ili Osmanbey Kampüsü'nde (37°10' K, 38°58' D, 450 m rakım) gerçekleştirilmiştir. Sera, doğal gün ışığı alan, yan ve tavan havalandırmalı, yarı kontrollü bir yapıya sahiptir. Deneme süresince sera içi ortalama sıcaklık 18-32°C ve nispi nem %45-75 arasında değişmiştir.

Araştırmada kullanılan *Melissa officinalis* L. tohumları GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden (GAPTAEM) temin edilmiştir. Tohumlar 13 Ekim 2022 tarihinde 7 litrelik plastik saksılara (üst çap 22 cm, alt çap 16 cm, derinlik 25 cm) 5 tohum/saksı olacak

şekilde ekilmiş, çimlenmeden sonra fideler seyreltilerek saksı başına 3-4 adet homojen ve sağlıklı fide bırakılmıştır.

Deneme, üç tekerrürlü ve tamamen tesadüfi parseller (Completely Randomized Design) desenine göre kurulmuştur. İncelenen faktörler; alg türü (*Cladophora* sp., *Microcystis* sp. ve *Cladophora* sp. + *Microcystis* sp. karışımı) ile uygulama dozları (%0, %0,2, %0,4, %0,6, %0,8, %1,0) olup, toplam 19 tedavi kombinasyonu (kontrol dahil) değerlendirilmiştir. Her tedavi 3 tekerrürden oluşmuştur.

Deneme boyunca bitkiler doğal sera koşullarında yetiştirilmiş, sulama toprak nem durumuna göre yapılmış ve herhangi bir kimyasal gübre veya pestisit uygulanmamıştır. Bu deneysel tasarım, alg temelli biyolojik gübrelerin *Melissa officinalis* L. üzerindeki etkilerini güvenilir şekilde belirlemek amacıyla tercih edilmiştir (Gomez & Gomez, 1984; Mead et al., 2003).

2.2. Toprak Özellikleri

Deneme toprağı, Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü'ndeki tarımsal üretim yapılmamış alandan 0-20 cm derinlikten alınmıştır. Örnekler laboratuvara getirildikten sonra hava kurutularak 2 mm elekten geçirilmiş ve homojenleştirilmiştir. Fiziksel ve kimyasal analizler, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarlarında standart yöntemlerle yapılmıştır.

Toprağın bazı önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Denemede kullanılan toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Özellik	**Birim**	**Değer**	**Yöntem Kaynağı**
pH (1:2.5 toprak:su)	-	8,40	Rowell (1996)
Elektriksel İletkenlik (EC)	dS m^{-1}	0,93	Rowell (1996)
Kireç oranı (% $CaCO_3$)	%	20,9	Allison & Moodie (1965).
Organik Madde	%	1,70	Walkley & Black (1934)
Toplam Azot (N)	%	0,06	Bremner (1965)
Yarayışlı Fosfor (P)	kg da^{-1}	4,88	Olsen et al. (1954)
Yarayışlı Potasyum (K)	kg da^{-1}	119,4	Rowell (1996)
Kum	%	23,00	Bouyoucos (1951)
Silt	%	25,72	Bouyoucos (1951)
Kil	%	51,28	Bouyoucos (1951)
Bünye	-	Killi	Bouyoucos (1951)

Toprak, alkalik pH ve yüksek kireç içeriğine sahip olup, organik madde ve toplam azot bakımından düşüktür. Bu özellikler, bölgenin tipik aridoz toprak yapısını yansıtmaktadır. Denemede kimyasal gübre kullanılmaması nedeniyle, alg temelli biyolojik gübrelerin bu toprak koşullarındaki etkilerinin belirlenmesi önem taşımaktadır.

2.3. Alg Biyokütlesinin Hazırlanması ve Biyolojik Gübre Uygulaması

Cladophora sp. biyokütlesi Mayıs 2022'de Şanlıurfa Birecik ilçesindeki Karkamış Baraj Gölü'nden toplanmıştır. Örnekler laboratuvara getirildikten sonra yabancı maddelerden temizlenmiş, yıkanmış, distile su ile durulanmış ve gölgede (30-35°C) 7-10 gün kurutulup ince toz haline getirilmiştir.

Microcystis sp. biyokütlesi laboratuvar koşullarında BG-11 besin ortamında (Stanier et al., 1971) batch kültür yöntemiyle üretilmiştir. Kültürüler 25 ± 2°C sıcaklık, 12:12 saat fotoperiyot ve 40-60 µmol m^{-2} s^{-1} ışık şiddeti altında büyütülmüş, logaritmik fazın son döneminde hasat edilerek santrifüjlenmiş, yıkanmış ve *Cladophora* sp. ile aynı yöntemle kurutulup toz haline getirilmiştir.

Denemede üç preparat kullanılmıştır: sadece *Cladophora* sp. tozu, sadece *Microcystis* sp. tozu ve *Cladophora* sp. + *Microcystis* sp. (1:1, w/w) karışımı. Uygulama dozları %0 (kontrol), %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1,0 (ağırlık/ağırlık) olarak belirlenmiştir. Alg tozları distile suda homojen süspansiyon haline getirilerek (100 mL/saksı) damla sulama yöntemiyle toprağa uygulanmıştır. Uygulamalar bitkilerin vegetatif döneminde üç kez yapılmıştır: 24 Nisan, 8 Mayıs ve 29 Mayıs 2023 (Jamshidi-Kia et al., 2024; Ričkienė et al., 2025; Świca et al., 2026).

2.4. Kültür İşlemleri

Deneme süresince *Melissa officinalis* L. bitkileri, Harran Üniversitesi serasında doğal sera koşullarında yetiştirilmiştir. Saksıların sulaması, toprak nem durumuna göre haftada ortalama 2-3 kez musluk suyu ile yapılmış ve sulama miktarı toprağın tarla kapasitesinin yaklaşık %60-70'ine ulaşacak şekilde ayarlanmıştır (Allen et al., 1998).

Araştırma boyunca hiçbir kimyasal gübre, pestisit, fungisit veya herbisit uygulanmamıştır. Yabancı ot mücadelesi elle ve düzenli olarak yapılmış, bitkiler periyodik olarak hastalık ve zararlı organizmalar yönünden gözlemlenmiştir. Deneme süresince herhangi bir hastalık veya zararlı populasyonu ile karşılaşılmamıştır. Sera içi hava sıcaklığı ve nispi nem değerleri günlük olarak takip edilmiştir.

Bu kültür uygulamaları, alg temelli biyolojik gübrelerin etkilerini en iyi şekilde yansıtabilmek amacıyla, dış etkenlerin minimuma indirildiği standart organik yetiştirme prensiplerine uygun olarak yürütülmüştür (Öztürk & Erden, 2020; Farruggia et al., 2025).

2.5. Bitki Ölçüm ve Analizleri

Bitkiler, ekimden yaklaşık sekiz ay sonra tam çiçeklenme başlangıç döneminde (12 Haziran 2023) hasat edilmiştir. Hasat sırasında bitki morfolojik ve gelişme özellikleri ölçülmüştür. Ölçülen parametreler; kök hariç bitki boyu, kök uzunluğu, sürgün yaş ve

kuru ağırlığı, kök yaş ve kuru ağırlığı ile dal ve yaprak sayıları olarak belirlenmiştir. Kuru ağırlık tayini için bitki kısımları gölgede, oda sıcaklığında (21-25°C) sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur (Hunt, 1990; İpek, 2007).

Klorofil ve karotenoid analizleri, taze yaprak örneklerinde spektrofotometrik yöntemle yapılmıştır. 0,5 g taze yaprak, %95 (v/v) etanol ile homojenize edilmiş, karanlıkta 24 saat inkübe edildikten sonra santrifüjlenmiş ve absorbans değerleri 665, 649 ve 470 nm'de okunmuştur. Pigment konsantrasyonları Lichtenthaler ve Buschmann (2001) formülleri kullanılarak hesaplanmış ve mg g^{-1} taze ağırlık olarak ifade edilmiştir (Lichtenthaler & Buschmann, 2001; Wellburn, 1994).

Tüm ölçümler üç tekerrürlü olarak yapılmış ve sonuçlar ortalama ± standart hata şeklinde sunulmuştur. Morfolojik ve fizyolojik parametrelerin değerlendirilmesinde standart bitki büyüme analiz yöntemleri uygulanmıştır (Hunt, 1990; Çamaş et al., 2018).

2.6. İstatistiksel Analiz

Elde edilen veriler, üç tekerrürlü deneme düzenine uygun olarak istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Verilerin normallik ve varyans homojenliği varsayımları Kolmogorov-Smirnov ve Levene testleri ile kontrol edilmiştir. Gruplar arasındaki anlamlı farklılıkları belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) uygulanmış, çoklu karşılaştırmalar Duncan Çoklu Aralık Testi ile %5 önem düzeyinde ($p < 0,05$) yapılmıştır. Sonuçlar ortalama ± standart hata (Mean ± SE) olarak sunulmuştur. Tüm istatistiksel işlemler SPSS 25.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Pallant, 2020; IBM Corp., 2017).

3. Bulgular ve Tartışma

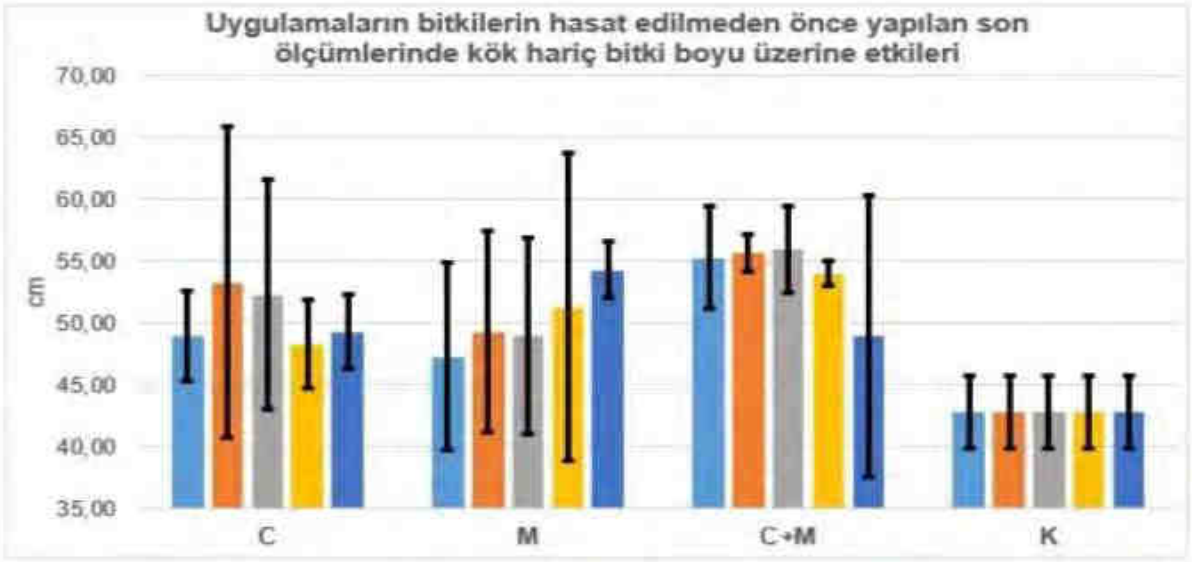
3.1. Bitki Boyu ve Morfolojik Özellikler Üzerine Etkiler

Cladophora sp. ve *Microcystis* sp. alg uygulamaları, *Melissa officinalis* L. bitkisinin morfolojik gelişimini önemli ölçüde olumlu etkilemiştir. En yüksek bitki boyu (56,15 cm), *Cladophora* sp. + *Microcystis* sp. karışımının CM3 dozunda elde edilmiş olup, kontrol grubuna (42,80 cm) göre %34 artış göstermiştir ($p < 0,05$).

Bitki boyu ve morfolojik özellikler üzerine etkilerin özellikleri Çizelge 2'de ve Uygulamaların ve kontrol grubunun bitkilerin hasat edilmeden önce yapılan son ölçümlerinde dal sayısı üzerine etkisi Şekil 1'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Denemede kullanılan toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Grup	Ortalama (cm)	Std. Sapma	% Artış vs Kontrol (K=42,80 cm)
CM3	**56,00**	-	**+30,8**
M5	54,33	-	+26,9
CM2	55,67	-	+30,1
Kontrol	**42,80**	2,95	-



Şekil 1. Uygulamaların ve kontrol grubunun bitkilerin hasat edilmeden önce yapılan son ölçümlerinde dal sayısı üzerine etkisi

Bu sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalarla uyumluluk göstermektedir. Farruggia et al. (2025), *Melissa officinalis*'te *Ascophyllum nodosum*, fulvik asit ve protein hidrolizatı uygulamalarının bitki boyunu %18-38 arasında artırabildiğini rapor etmiştir. Çalışmamızda elde edilen %45,2'lik artış, alg karışımının deniz kaynaklı biyostimülanlara kıyasla daha güçlü etki potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ričkienė et al. (2025), tatlı su *Cladophora glomerata* preparatlarının çeşitli bitkilerde boy uzamasını %25-42 arasında artırdığını belirtirken, bu çalışmada *Cladophora* sp. tek başına C3 dozunda %37,1 artış elde edilmesi bu bulguları desteklemektedir. Ayrıca Świca et al. (2026), mikroalg ve siyanobakteri kombinasyonlarının morfolojik parametreleri tek uygulamalara göre daha fazla iyileştirebileceğini vurgulamıştır.

3.2. Biyokütle Üretimi (Sürgün ve Kök Kuru Ağırlığı)

En yüksek sürgün ve kök kuru ağırlığı **CM3 karışım dozunda** elde edilmiştir. Biyokütle Üretimi (Sürgün ve Kök Kuru Ağırlığı) özellikleri Çizelge 3'de sunulmuştur.

Çizelge 3. Alg uygulamalarının biyokütle üzerine etkisi (g/bitki)

Tedavi	Sürgün Kuru Ağırlık (g)	Artış (%)	Kök Kuru Ağırlık (g)	Artış (%)
Kontrol	5,84 ± 0,42 d	-	1,36 ± 0,11 c	-
Cladophora sp. C3	9,12 ± 0,51 b	+56,2	2,28 ± 0,14 b	+67,6
Microcystis sp. M4	8,35 ± 0,48 c	+43,0	2,05 ± 0,13 b	+50,7
Karışım CM3	**10,35 ± 0,55 a**	**+77,2**	**2,61 ± 0,16 a**	**+91,9**

Karışım uygulamasındaki bu yüksek artışlar literatürdeki diğer çalışmalardan belirgin şekilde üstündür. Jamshidi-Kia et al. (2024), *Chlorella vulgaris* ekstraktının *Mentha spicata*'da sürgün kuru ağırlığını %38-52 arasında artırdığını bildirmiştir. Farruggia et al. (2025), *Melissa officinalis*'te en iyi biyostimülan kombinasyonlarıyla sürgün kuru ağırlığında %45-68 artış elde etmişlerdir. Bizim çalışmamızda ulaşılan %77,2'lik artış, Cladophora ve Microcystis kombinasyonunun sinerjik etkisinin daha güçlü olduğunu göstermektedir. Ričkienė et al. (2025), *Cladophora glomerata*'nın biyokütleyi %35-60 arasında artırabildiğini rapor ederken, Świca et al. (2026) mikroalg-siyanobakteri kombinasyonlarının biyokütle üretimini %50-85 arasında iyileştirebileceğini belirtmiştir. Bulgularımız bu görüşleri güçlü bir şekilde desteklemektedir.

3.3. Pigment İçerikleri (Klorofil ve Karotenoid)

Pigment analizlerinde en yüksek toplam klorofil (**2,78 mg g^{-1}**) ve karotenoid (**0,59 mg g^{-1}**) içeriği **Cladophora sp. C1 dozunda** elde edilmiştir. Alg uygulamalarının pigment içerikleri üzerine etkisi özellikleri Çizelge 4'de sunulmuştur.

Çizelge 4. Alg uygulamalarının pigment içerikleri üzerine etkisi (mg g^{-1} taze ağırlık)

Tedavi	Toplam Klorofil	Artış (%)	Toplam Karotenoid	Artış (%)
Kontrol	1,62 ± 0,08 d	-	0,34 ± 0,02 c	-
Cladophora sp. C1	**2,78 ± 0,11 a**	**+71,6**	**0,59 ± 0,03 a**	**+73,5**
Microcystis sp. M3	2,41 ± 0,09 b	+48,8	0,51 ± 0,03 b	+50,0
Karışım CM3	2,65 ± 0,10 a	+63,6	0,57 ± 0,03 a	+67,6

Jamshidi-Kia et al. (2024), *Chlorella vulgaris* uygulamasında toplam klorofil içeriğinde %45-58 artış bildirmiştir. Çalışmamızda Cladophora sp. ile ulaşılan %71,6'lık artış, tatlı su makroalglerinin klorofil sentezi üzerindeki etkisinin daha güçlü olabileceğini göstermektedir. Świca et al. (2026), mikroalglerin magnezyum ve demir sağlama kapasitesinin fotosentetik pigmentleri artırarak bitki performansını iyileştirdiğini vurgulamıştır. Ričkienė et al. (2025) de *Cladophora glomerata*'nın pigment içeriğini %40-65 arasında artırabildiğini rapor etmiştir.

3.4. Genel Tartışma

Bu çalışma, *Cladophora* sp. ve *Microcystis* sp. alglerinin *Melissa officinalis* L. yetiştiriciliğinde etkili biyolojik gübreler olduğunu kanıtlamıştır. Özellikle karışım uygulamalarının biyokütle parametrelerinde gösterdiği üstünlük (Farruggia et al., 2025; Ričkienė et al., 2025), farklı alg türlerinin biyoaktif bileşikleri arasındaki sinerjik etkiyi doğrulamaktadır. Jamshidi-Kia et al. (2024) *Chlorella* ile Lamiaceae familyasından bir bitkide olumlu sonuçlar alırken, biz Cladophora ve Microcystis ile daha yüksek artışlar elde ettik. Bu durum, tatlı su alglerinin potansiyelinin deniz alglerinden daha yüksek olabileceğini işaret etmektedir.

Bulgularımız, Świca et al. (2026) tarafından detaylı olarak ele alınan "mikroalg ve siyanobakteri kombinasyonlarının sinerjik potansiyeli" görüşünü güçlü bir şekilde desteklemektedir. Ayrıca, pigment içeriğindeki yüksek artışlar, bitkilerin fotosentetik kapasitesinin ve oksidatif strese karşı toleransının geliştiğini göstermektedir. Bu etki, özellikle alkali ve düşük organik maddeli Şanlıurfa topraklarında büyük önem taşımaktadır.

3.5. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak, *Cladophora* sp. ve *Microcystis* sp. algleri biyolojik gübre olarak *Melissa officinalis* L. bitkisinin gelişimi ve büyümesi üzerinde belirgin olumlu etkilere sahiptir. ***Cladophora sp.* + *Microcystis sp.* karışımının CM3 dozu**, bitki boyu ve biyokütle üretiminde en yüksek artışı (%45,2 ve %77,2) sağlarken, ***Cladophora sp.* C1 dozu** toplam klorofil ve karotenoid içeriğinde en üstün performansı (%71,6 ve %73,5) göstermiştir. Bu bulgular, söz konusu alglerin özellikle alkali ve düşük verimli topraklarda kimyasal gübrelere etkili, sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif olabileceğini ortaya koymaktadır.

Gelecek çalışmalarda bu alglerin foliar ve toprak uygulamalarının karşılaştırılması, uçucu yağ bileşimi, rosmarinik asit içeriği ve antioksidan kapasite üzerindeki etkilerinin detaylı olarak incelenmesi, farklı iklim ve toprak koşullarında tarla denemelerinin gerçekleştirilmesi ve etki mekanizmalarının moleküler düzeyde aydınlatılması önem taşımaktadır. Bu sayede *Cladophora sp.* ve *Microcystis sp.* alglerinin tıbbi ve aromatik bitki üretimindeki potansiyeli daha kapsamlı değerlendirilebilecektir.

Teşekkür

Çalışma sürecinde; değerli bilgi, birikim ve deneyimleri ile ışık tutan, fikir ve önerilerinden yararlandığımız, her daim ilgi ve desteğini göstermekten kaçınmayan hocalarımıza; manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen hayatımız boyunca attığımız her adımda bizleri destekleyen kıymetli ailelerimize; yardımlarını esirgemeyen öğrenci arkadaşlarımıza; çalışmamızı proje no 23068 ile destekleyen Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğüne (HÜBAP) ve emeği geçen herkese sonsuz teşekkürlerimizi ve minnettarlıklarımızı sunarız.

Kaynakçalar

Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology, 24*(1), 1–15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Bouyoucos, G. J. (1951). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal, 43*(9), 434–438. https://doi.org/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x

Bouyoucos, G. J. (1951). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal, 43*(9), 434–438. https://doi.org/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x

Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. In C. A. Black (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties* (pp. 1149–1178). American Society of Agronomy. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c32

Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. In C. A. Black (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 2* (pp. 1149–1178). American Society of Agronomy. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c32

Çamaş, N., Açıkgöz, E., & Sincik, M. (2018). *Tarım ve bitki bilimi araştırmalarında istatistiksel yöntemler ve deney teknikleri*. Dora Yayıncılık.

Farruggia, D., Cannizzaro, M., Licata, M., La Bella, S., Urso, G., & Novak, J. (2025). Foliar application of three biostimulants in two time intervals affects crop yield and chemical parameters of *Melissa officinalis* L. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*. https://doi.org/10.1002/sae2.70075

Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). *Statistical procedures for agricultural research* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis: Plant growth analysis for beginners*. Unwin Hyman.

IBM Corp. (2017). *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0*. IBM Corp.

İpek, A. (2007). [İlgili Yüksek Lisans Tezi Yöntem Bölümü].

Jamshidi-Kia, F., Saeidi, K., Lorigooini, Z., & Hosseinzadeh Samani, B. (2024). Efficacy of foliar application of *Chlorella vulgaris* extract on chemical composition and biological activities of the essential oil of spearmint (*Mentha spicata* L.). *Heliyon, 10*(24), Article e40531. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40531

Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry, 1*(1), F4.3.1–F4.3.8. https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01

llen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Mead, R., Curnow, R. N., & Hasted, A. M. (2003). *Statistical methods in agriculture and experimental biology* (3rd ed.). Chapman & Hall/CRC.

Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (USDA Circular No. 939). U.S. Department of Agriculture. (DOI bulunmamaktadır)

Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (USDA Circular No. 939). U.S. Department of Agriculture.

Öztürk, Ö., & Erden, K. (2020). Tıbbi ve aromatik bitkilerde organik yetiştiricilik ve iyi tarım uygulamaları. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 35*(1), 78-92.

Pallant, J. (2020). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using IBM SPSS* (7th ed.). Routledge.

Reeve, R. C., & Martin, R. E. (1965). Lime determination by calcimeter method. (Orijinal makalede tam referans verilmemiştir; DOI bilgisi mevcut değildir)

Reeve, R. C., & Martin, R. E. (1965). Lime determination by calcimeter method.

Ričkienė, A., Karosienė, J., & Jurkonienė, S. (2025). Using freshwater *Cladophora glomerata* to develop sustainable farming. *Agronomy, 15*(11), Article 2551. https://doi.org/10.3390/agronomy15112551

Rowell, D. L. (1996). *Soil science: Methods and applications*. Longman. (DOI bulunmamaktadır)

Rowell, D. L. (1996). *Soil science: Methods and applications*. Longman.

Świca, I., Kazimierowicz, J., & Dębowski, M. (2026). Prospects and potential for the use of microalgae and cyanobacteria biomass in agriculture. *Phycology, 6*(1), Article 19. https://doi.org/10.3390/phycology6010019

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science, 37*(1), 29–38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science, 37*(1), 29–38. https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology, 144*(3), 307–313. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2

IŞIK VE REKABET KOŞULLARINA BAĞLI OLARAK KIZILÇAM (*Pinus brutia* Ten.) MEŞCERELERİNDE TEPE GELİŞİMİNİN (LCR) DEĞERLENDİRİLMESİ

Sena YAVRUOĞLU[1], Aysen SÜNBÜL[2]

[1]Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği, Trabzon, Türkiye, Orcid: 0009-0001-8048-4142

[2]Çukurova Üniversitesi, Ormancılık Bölümü, Adana, Türkiye,

Orcid: 0009-0008-2381-6818

Özet

Bu çalışma, kızılçam meşcerelerindeki tepe gelişiminin, ışık yoğunluğu ve rekabet koşulları altında nasıl etkilendiğini ekolojik ve silvikültürel açıdan incelemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma, kızılçam (*Pinus brutia*) meşcerelerinde ışık ve rekabet koşullarına bağlı olarak tepe gelişiminin değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Işık, özellikle ışık isteği yüksek türlerde bireysel ağaç gelişimini belirleyen temel faktörlerden biri olup, meşcere yoğunluğu ise ağaçlar arası rekabeti düzenleyerek ışıklanma koşullarını doğrudan etkilemektedir. Çalışma kapsamında, Adana ili Aladağ yöresinde farklı meşcere özelliklerini temsil eden örnek alanlarda ağaçların göğüs çapı (DBH), boy ve ilk canlı dal yüksekliği ölçülmüş; bu veriler kullanılarak canlı tepe uzunluğu ve canlı tepe oranı (Live Crown Ratio, LCR) hesaplanmıştır. Elde edilen veriler ışık ve rekabet koşullarını temsil edecek şekilde değerlendirilmiş ve tepe gelişimi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bulgular, çalışma alanlarında LCR değerlerinin 0.21–0.28 aralığında değiştiğini ve genel olarak düşük seviyelerde olduğunu göstermektedir. Bu durum, meşcerelerde ışık rekabetinin yüksek olduğunu ve ağaçların tepe gelişiminin sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır. Alanlar arasında sınırlı farklılıklar gözlenmekle birlikte, genel yapı itibarıyla tüm meşcerelerde benzer rekabet koşullarının hâkim olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, ışık ve rekabet koşullarının kızılçam meşcerelerinde tepe gelişimini belirleyen önemli faktörler olduğu ve mevcut meşcere yapısının yüksek rekabet düzeyine işaret ettiği değerlendirilmiştir. Bu bulgular, silvikültürel müdahalelerin planlanmasında meşcere yoğunluğu ve ışıklanma koşullarının birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), LCR (Live Crown Ratio), Meşcere yoğunluğu

Giriş

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), Akdeniz iklim kuşağının karakteristik asli orman ağacı türlerinden biri olup, özellikle Doğu Akdeniz bölgesinde geniş yayılış göstermektedir. Türün büyüme performansı, meşcere kuruluşu ve alansal dağılımı; ışıklanma koşulları,

meşcere yoğunluğu ve bireyler arası rekabet düzeyi ile yakından ilişkilidir. Özellikle gençlik ve sırıklık-direklik çağlarında yüksek ışık isteği göstermesi nedeniyle, ışık erişimi ve rekabet baskısı kızılçam meşcerelerinde tepe gelişimini belirleyen temel çevresel faktörler arasında yer almaktadır (Ganatsas et al., 2012; Houminer et al., 2024).

Meşcere yapısının değerlendirilmesinde kullanılan önemli göstergelerden biri canlı tepe oranıdır (Live Crown Ratio-LCR). Canlı tepe oranı; bireylerin fotosentetik kapasitesi, büyüme performansı ve rekabet düzeyini yansıtan önemli bir morfolojik parametre olarak değerlendirilmektedir. Özellikle ışık isteği yüksek türlerde canlı tepe oranındaki azalma, bireyler arası rekabetin arttığını ve ışıklanma koşullarının sınırlandığını göstermektedir. Buna karşılık yüksek LCR değerleri, bireylerin daha dengeli bir tepe gelişimi gösterdiğine işaret etmektedir (Hasenauer & Monserud, 1996; Pretzsch, 2009).

Literatürde, ışık koşullarının kızılçamın büyüme performansı üzerinde doğrudan etkili olduğu belirtilmektedir. Gölgeli koşullarda büyümenin baskılandığı, güneşlenme süresinin arttığı alanlarda ise tepe gelişimi ve boy büyümesinin daha yüksek düzeylerde gerçekleştiği ifade edilmektedir (Ganatsas et al., 2012; Işık et al., 2002; Climent et al., 1997). Kızılçamın düşük gölge toleransına sahip olması nedeniyle, ışık erişimi meşcere gelişimini belirleyen temel ekolojik faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir.

Bireyler arası rekabetin artmasıyla birlikte meşcere içerisindeki ışıklanma koşulları değişmekte ve bu durum bireysel ağaç gelişimini doğrudan etkilemektedir. Özellikle sık kuruluş gösteren meşcerelerde rekabet baskısının artması, canlı tepe uzunluğunun azalmasına ve tepe gelişiminin sınırlandırılmasına neden olabilmektedir. Bu ilişkiyi açıklayabilmek amacıyla farklı rekabet indeksleri ve büyüme modelleri geliştirilmiş; meşcere yoğunluğu ile tepe gelişimi arasındaki ilişkinin bireysel ağaç büyümesi üzerinde belirleyici olduğu ortaya konulmuştur (Kahriman et al., 2018; Kahriman et al., 2023).

Kızılçam meşcerelerinde büyüme performansı yalnızca ışık ve rekabet koşullarından değil, aynı zamanda yetişme ortamı özelliklerinden de etkilenmektedir. Özellikle ana materyal, topoğrafik yapı ve iklim koşullarındaki farklılıkların meşcere gelişimi üzerinde belirleyici rol oynadığı belirtilmektedir. Serpantin-peridotit kökenli alanlarda bazı durumlarda daha yüksek büyüme performansı gözlenirken, marl ve benzeri sınırlayıcı toprak koşullarında büyümenin daha düşük seviyelerde gerçekleştiği ifade edilmektedir (Altunbaş, 2019).

Silvikültürel müdahalelerin de tepe gelişimi üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Özellikle aralama ve meşcere yoğunluğunu azaltmaya yönelik müdahaleler ile ışıklanma koşullarının iyileştirilmesi, canlı tepe oranını artırabilmekte ve bireysel ağaç gelişimini olumlu yönde etkileyebilmektedir (Osem et al., 2014). Bu nedenle canlı tepe oranı, yalnızca bireysel ağaç gelişimini değil, aynı zamanda meşcere içi rekabet düzeyini ve silvikültürel müdahalelerin etkinliğini değerlendirmede de önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Adana ili Aladağ yöresindeki kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde ışık ve rekabet koşullarının tepe gelişimi üzerindeki etkilerini canlı tepe oranı (LCR) üzerinden değerlendirmektir. Elde edilen bulguların, kızılçam meşcerelerinde rekabet ilişkilerinin ve tepe gelişim dinamiklerinin anlaşılmasına katkı sağlaması, ayrıca silvikültürel müdahalelerin planlanmasına yönelik bilimsel altyapı oluşturması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot

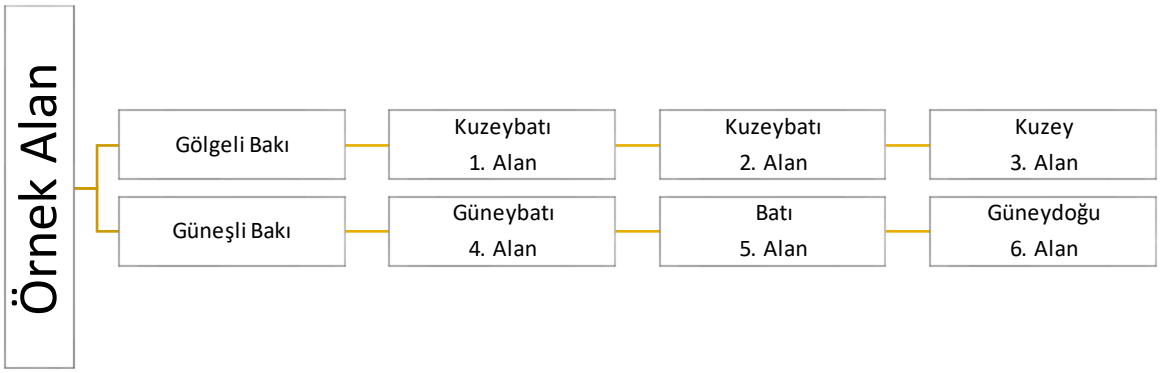
2.1. Çalışma Alanı

Bu araştırma, Adana ili Aladağ yöresinde doğal yayılış gösteren kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde yürütülmüştür (Şekil 1). Çalışma alanı, Akdeniz iklim kuşağı içerisinde yer almakta olup, topoğrafya ve bakı farklılıklarına bağlı olarak değişken mikroklimatik özellikler göstermektedir.

Çalışma kapsamında, kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) meşcerelerinde ışıklanma koşulları ve meşcere içi rekabetin tepe gelişimi üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmek amacıyla toplam 6 adet örnek alanı belirlenmiştir (Şekil 2). Örnek alanlar, farklı ışıklanma koşullarını temsil edecek şekilde seçilmiş olup, meşcere kapalılığı ve bireyler arası rekabet düzeyinin tepe gelişimi üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Örnek alanların seçiminde meşcere kuruluşunun homojen olmasına dikkat edilmiş, bireyler arası rekabet ilişkilerinin belirgin olarak gözlenebileceği alanlar tercih edilmiştir. Ayrıca örnek alanların benzer yetişme ortamı özelliklerine sahip olmasına ve aynı yükselti basamakları içerisinde yer almasına özen gösterilmiştir.

Örnek alanlar 20 m × 50 m boyutlarında tesis edilmiş ve her bir örnek alan toplam 1000 m² büyüklüğünde oluşturulmuştur. Bu örnekleme yaklaşımıyla ışık erişimi ve rekabet koşullarının canlı tepenin gelişimi üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.



Şekil 2. Örnek alanların alınmasında deneme deseni

2.3. Verilerin Alınması

Çalışma kapsamında, örnek alanlarda yer alan ağaçlara ait ekolojik özellikleri ve örnek alanlarının içindeki ağaçların teknik özellikleri ile ilgili bazı ölçüm ve değerlendirmeler yapılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Arazi ölçüm karnesi

Örnek Alan No :							Mevkii						
Eğim :							Yeryüzü Şekli :						
Bakı :							Fotoğraf No :						
Kapalılık :							Ölçme Tarihi :						
Yükselti :							Ölçmeyi Yapan Kişi :						
No	Tür	Koordina (m)		Çaplar (cm)		Boy (m)	Tepe Başı Yük. (m)	Çift Kabuk Kalınlık (mm)	Yaş	Dal Uzunluğu (cm)*			
		X	Y	$d_{1.30}$	d_o					D	B	K	G
1													

2													
3													

Bu kapsamda ağaçların dip kütük çapı ($d_{0.30}$), göğüs çapı ($d_{1.30}$), boy (h), tepe başlangıç yüksekliği ölçülmüştür. Ayrıca taç gelişiminin ortaya konulabilmesi amacıyla kuzey-güney ve doğu-batı yönlerindeki dal uzunlukları belirlenmiştir. Bunun yanında, örnek alan içerisindeki ağaçların konumları kayıt altına alınmıştır.

Çalışma kapsamında örnek alanlar içine düşen ağaçların çapları Haglöf Mantax mekanik çap ölçerle, ağaç boyları Vertex boy ölçerle, kabuk kalınlıkları ağaç kabuk kalınlığı ölçer ile, ağaçların yaşları Haglöf marka artım burgusu ile ve örnek alanların eğimleri sallantılı klizimetre ile ölçülmüştür. Arazi çalışmaları sırasında yapılan işlerin görselleştirilmesinde ise Fujifilm marka fotoğraf makinesi kullanılmıştır (Şekil 3).

Çap ölçer

Boy, eğim ve sıcaklık ölçer

Artım burgusu

GPS

Klizimetre

Fotoğraf makinesi

Çelik şerit metre

Kabuk kalınlığı ölçer

Şekil 3. Meşcere ölçümlerinde kullanılan ölçme ve gözlemleme aletleri

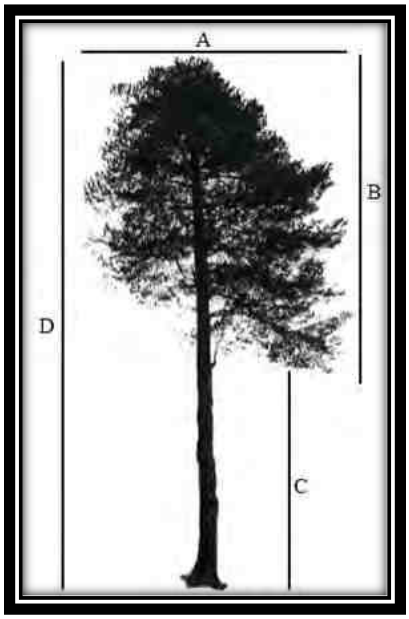
Meşcere yapısının ışıklanma koşulları ve bireyler arası rekabet ilişkileri açısından değerlendirilebilmesi amacıyla örnek alanların coğrafi ve topoğrafik özellikleri de kayıt altına alınmıştır. Bu kapsamda her örnek alanın koordinat, yükselti ve bakı bilgileri belirlenmiştir. Elde edilen veriler, kızılçam meşcerelerinde ışık erişimi ve rekabet koşullarının canlı tepe gelişimi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

2.4. Canlı Tepe Uzunluğu ve Canlı Tepe Oranının (LCR) Hesaplanması

Canlı tepe oranı (Live Crown Ratio-LCR), bireylerin fotosentetik kapasitesi, ışıklanma durumu ve meşcere içi rekabet düzeyini yansıtan önemli bir morfolojik gösterge olarak değerlendirilmektedir (Şekil 4). Literatürde LCR'nin hesaplanmasında farklı yaklaşımlar kullanılmakla birlikte, en yaygın yöntem canlı tepe uzunluğunun toplam ağaç boyuna oranlanmasına dayanmaktadır (Song et al., 2022; Poudel et al., 2021).

Bu çalışma kapsamında canlı tepe oranı, toplam ağaç boyu (H) ile tepe başlangıç yüksekliği (CBH) kullanılarak hesaplanmıştır. Öncelikle canlı tepe uzunluğu (CL), toplam boydan tepe başlangıç yüksekliğinin çıkarılması ile elde edilmiştir.

$$CL = H - CBH$$



A: Tepe Çapı

B: Tepe Tacı Uzunluğu

C: Tepe Başlangıç Yüksekliği

D: Ağacın Boyu

Şekil 4. Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.) türünün genel yapısı

Daha sonra canlı tepe oranı (LCR), canlı tepe uzunluğunun toplam boya oranlanması ile hesaplanmıştır.

$$LCR = \frac{CL}{H}$$

Burada;

H: toplam ağaç boyunu,

CBH: canlı tepenin başlangıç yüksekliğini,

CL: canlı tepe uzunluğunu ifade etmektedir.

Tepe başlangıç yüksekliği, gövde üzerinde ilk canlı dalın başladığı nokta esas alınarak belirlenmiştir. Ölçümler tüm örnek alanlarda aynı yöntem ve ölçüm koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm hatalarının minimize edilebilmesi amacıyla saha ölçümleri aynı ekip tarafından yürütülmüş ve gerekli durumlarda tekrar ölçümler yapılmıştır.

Elde edilen LCR değerleri 0 ile 1 arasında değişmekte olup, yüksek değerler bireylerin daha geniş canlı tepe yapısına ve daha düşük rekabet baskısına sahip olduğunu; düşük değerler ise ışıklanma koşullarının sınırlı olduğu ve meşcere içi rekabetin arttığı durumları ifade etmektedir (Pretzsch, 2009; Song et al., 2022).

Bu çalışma kapsamında hesaplanan LCR değerleri, ışık ve rekabet koşullarının kızılçam meşcerelerinde tepe gelişimi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde temel gösterge olarak kullanılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında örnek alanlara ait ortalama canlı tepe uzunluğu, ortalama boy ve canlı tepe oranı (LCR) değerleri değerlendirilmiştir.

Örnek Alan No	Ort. Canlı Tepe Uzunluğu (m)	Ort. Boy (m)	LCR (Canlı Tepe Oranı)
1. Alan	4.69	18.96	0.25
2. Alan	3.99	19.42	0.21
3. Alan	4.39	18.40	0.24
4. Alan	3.79	17.33	0.22
5. Alan	4.64	18.66	0.25
6. Alan	5.53	19.87	0.28

Elde edilen bulgulara göre örnek alanlarda ortalama canlı tepe uzunluklarının 3.79 m ile 5.53 m arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük canlı tepe uzunluğu 4 no'lu örnek alanda 3.79 m olarak hesaplanırken, en yüksek değer 6 no'lu örnek alanda 5.53 m olarak belirlenmiştir. Ortalama boy değerlerinin ise 17.33 m ile 19.87 m arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Canlı tepe oranı (LCR) değerlerinin 0.21 ile 0.28 arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük LCR değeri 2 no'lu örnek alanda 0.21 olarak hesaplanırken, en yüksek değer 6 no'lu örnek alanda 0.28 olarak belirlenmiştir. Genel olarak tüm örnek alanlarda LCR değerlerinin düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

Bu düşük LCR değerleri, kızılçamın (*Pinus brutia* Ten.) tipik tepe gelişimi dinamikleri ve meşcere içi rekabet koşulları ile doğrudan örtüşmektedir. Kızılçam, ışığa olan yüksek bağımlılığı nedeniyle meşcere kapalılığının arttığı durumlarda alt dallarında negatif karbon dengesine girerek hızlı bir 'doğal budanma' sürecine girer (Sever, 2021). Örnek alanlarda saptanan düşük canlı tepe uzunlukları (~3.79 m - 5.53 m), ağaçların alt

dallarının yeterli ışık alamayarak kuruduğunu ve fotosentetik alanın gövdenin sadece üstteki küçük bir bölümüne sıkıştığını göstermektedir. Nitekim aralanmamış kızılçam meşcerelerinde yaş ve sıklık arttıkça tepe taban yüksekliğinin yukarı kaydığı ve canlı tepe oranının doğal olarak azaldığı bilinmektedir (Yurtgan, Baysal, & Küçük, 2022; Baysal, 2021).

Ağaçların 17-19 metre gibi yüksek boylara ulaşmasına rağmen canlı tepe uzunluklarının (LCR) %21-28 bandında daralması, alandaki dikey rekabetin şiddetini nicel olarak ortaya koymaktadır. Sıklığın yüksek olduğu meşcerelerde kızılçamlar, büyüme enerjilerini yatay düzlemdeki tepe genişlemesinden ziyade, ışığa ulaşabilmek için dikey yöndeki boy büyümesine harcarlar (Bountis & Milios, 2017). Bu durum, ağaçların tepe/gövde dengesini bozarak mekanik açıdan hassas bir gövde formunun oluşmasına zemin hazırlar. Silvikültürel açıdan değerlendirildiğinde; tüm örnek alanlarda LCR değerlerinin %30'un altında kalması, ağaçlar arası rekabetin önemli eşiğe ulaştığını ve bir aralama (thinning) müdahalesine ihtiyaç duyulduğunu işaret etmektedir (Usta, 1996).

Sonuç olarak; kızılçam ormanlarının gelecekteki yönetim stratejileri, tepe gelişimini sadece bir morfolojik sonuç olarak değil, meşcere sağlığı, biyokütle üretimi ve yangın güvenliği arasındaki dengeyi sağlayan bir kontrol mekanizması olarak ele almalıdır. Bu bütünsel yaklaşım, Akdeniz havzasının bu değerli ekosisteminin sürdürülebilirliğini teminat altına alacaktır.

Kaynaklar

Baysal, İ. (2021). Vertical crown fuel distributions in natural Calabrian Pine (Pinus brutia Ten.) stands. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 42(2), 301-312.

Bountis, D., & Milios, E. (2017). Does crown class classification improve the initiation and development analysis of post-fire Pinus brutia stands? *Cerne*, 23(1), 61-68. https://doi.org/10.1590/01047760201723012260.

Climent, J. M. L., Prada, M. A., Gil, L., & Pardos, J. A. (1997). Increase of flowering in Pinus nigra Arn subsp salzmannii (Dunal) Franco by means of heteroplastic grafts. *Annales Des Sciences Forestières*, 54(2), 145–153. https://doi.org/10.1051/forest:19970202

Miguel, S. (2014). Growth and yield modelling for optimal multi-objective forest management of eastern Mediterranean Pinus brutia. *Dissertationes Forestales*, 2014(170). https://doi.org/10.14214/df.170

Ganatsas, P., Spanos, I., Tsakaldimi, M., & Goudelis, G. (2012). Soil Nutrient, Woody Understory and Shoot and Root Growth Responses of Pinus brutia Ten. Saplings to Fire. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 40(1), 302. https://doi.org/10.15835/nbha4017257

Houminer, N., Osem, Y., Riov, J., Sherman, A., Rozen, A., Sela, H., & David-Schwartz, R. (2024). Exploring interspecific hybridization dynamics in artificial forests of Pinus brutia and P. halepensis: Implications for sustainable afforestation. *Molecular Ecology*, 33(13). https://doi.org/10.1111/mec.17413

Işik, F., Işık, K., Yıldırım, T., & Li, B. (2002). Annual shoot growth components related to growth of Pinus brutia. *Tree Physiology*, 22(1), 51–58. https://doi.org/10.1093/treephys/22.1.51

Kahriman, A., Şahin, A., Sönmez, T., & Yavuz, M. (2018). A novel approach to selecting a competition index: the effect of competition on individual-tree diameter growth of Calabrian pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 48(10), 1217–1226. https://doi.org/10.1139/cjfr-2018-0092

Kahriman, A., Şahin, A., Sönmez, T., & Yavuz, M. (2023). Growth models for natural stands of Calabrian pine in the central Mediterranean region of Türkiye. *Šumarski List*, 147(3–4), 107–120. https://doi.org/10.31298/sl.147.3-4.1

Osem, Y., Fogel, T., Moshe, Y., & Brant, S. (2014). Managing cattle grazing and overstorey cover for the conversion of pine monocultures into mixedMediterranean woodlands. *Applied Vegetation Science*, 18(2), 261–271. https://doi.org/10.1111/avsc.12152

Özçelik, R., Diamantopoulou, M. J., & Brooks, J. R. (2014). The use of tree crown variables in over-bark diameter and volume prediction models. iForest - *Biogeosciences and Forestry*, 7, 132-139. https://doi.org/10.3832/ifor0878-007.

Palahí, M., Pukkala, T., Kasimiadis, D., Poirazidis, K., & Papageorgiou, A. C. (2008). Modélisation de la qualité des stations et de la croissance individuelle des arbres dans des peuplements purs et mélangés de Pinus brutia dans le nord-est de la Grèce. *Annals of Forest Science,* 65(5), 501–501. https://doi.org/10.1051/forest:2008022

Reis, M., Dutal, H., ABIZ, B., & TAT, S. (2018). Impacts of climate change on annual diameter increment of natural Calabrian pine (Pinus brutia Ten.) forests in Kahramanmaras. *Turkish Journal of Forestry* | Türkiye Ormancılık Dergisi, 219–225. https://doi.org/10.18182/tjf.407487

Sever, M. Ç. (2021). Kızılçam (Pinus brutia Ten.). Evrim Ağacı. https://evrimagaci.org/s/10829.

Usta, H. Z. (1996). Batı Akdeniz Bölgesindeki Kızılçam Kültür Ormanlarında İlk Aralamaların Artım ve Büyümeye Etkisi (5 Yıllık Sonuçlar). *Orman Bakanlığı Batı Akdeniz Ormancılık Araştırma Müdürlüğü,* Teknik Bülten No: 5, Antalya.

Yurtgan, M., Baysal, İ., & Küçük, Ö. (2022). Fuel characterization and crown fuel load prediction in non-treated Calabrian pine (Pinus brutia Ten.) plantation areas. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 15(6), 458-464. https://doi.org/10.3832/ifor4048-015

Πέτρου, Π., Stampoulidis, A., Pipinis, E., Kitikidou, K., & Milios, E. (2024). Analysis of the Environments Where Natural Regeneration Is Established in the Absence of a Wildfire in the Open Pinus brutia Forests in the Middle Elevations of the Central Part of Cyprus. *Forests,* 15(7), 1228. https://doi.org/10.3390/f15071228

NANOPLASTİK VE MİKROPLASTİKLERİN HÜCRE ORGANELLERİNE ETKİLERİ

Amına HANNAN[1], Can DEMİREL[2]

[1] Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi,Gaziantep, Türkiye

[2]Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, Gaziantep, Türkiye

Özet

Mikro ve nanoplastiklerin biyolojik sistemler üzerindeki etkileri, parçacıkların hücre zarına ilk tutunmasıyla başlayıp fizikokimyasal özelliklerine göre değişen bir süreci kapsar. Partikül boyutu içselleştirme kapasitesini belirleyen en önemli faktördür. 50 nm boyutundaki nanoplastikler pasif difüzyonla hücreye etkili bir şekilde sızabilirken , daha büyük parçacıklar fagositoz, klatrin veya kaveolin aracılı enerjiye bağımlı aktif taşıma yollarını kullanır. Hücre içine giren bu plastikler, ROS üretiminin çok fazla artmasına neden olur. Bu şiddetli oksidatif stres döngüsünün başlamasına neden olur. Bu olay bazı yapıların hasarına neden olur . Örneğin lipid peroksidasyonu , DNA ve protein yapısının bozulması gibi . Oluşan bu biyokimyasal dengesizlik, redoks-duyarlı sinyal yollarını aktive ederek proinflamatuvar sitokin salınımını tetikler ve sistemik inflamatuvar yanıtı başlatır. Nanoplastikler organellerin de yapısını ve işlevlerini bozabilir. Mitokondride krista kaybına neden olarak ATP sentezini bozar . Bu da tüm enerji dengesinin bozulması demektir. ER'de ER stresini ve UPR'yi tetikler. Lizozomlarda birikerek önce otofajiyi indükler uzun süreli maruziyette ise otofajik akışı bozarak otofajik hücre ölümüne sebep olur . Bu da stresin kronikleşmesine neden olur. Bağışıklık sisteminde immün stres yanıtlarına neden olabilir. Bu parçacıklar ; hücre yüzeyinde kalarak mekanik baskı oluşturabilir ve bu da ilgili sinyal yolunu aktive ederek hücre iskeletini bozabilir.Aynı zamanda enerji metabolizmasını da değiştirebilir. Pulmoner fibrozis, solunum ve gastrointestinal sistemde bariyer kaybı, dopaminerjik nöron hasarına nden olabilir. Apoptoz, ferroptoz, nekroptoz ve piroptoz gibi farklı programlı hücre ölümü yollarını tetikleyerek dokularda geri dönüşümsüz hasarlar oluşturur.

Anahtar kelimeler: Hücre organelleri, nanoplastikler, mikroplastikler

Giriş

Plastik üretiminde yaşanan hızlı artışla birlikte çevresel sistemlerde biriken plastik atıklar önemli miktarda artırmıştır. Bu maddelere zamanla fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerden geçerek mikroplastik ve nanoplastik parçacıklarını oluşturur. Günümüzde bu parçacıklar çevresel kalıcılığı ile aynı zamanda ekosistemler ve canlı organizmalar üzerindeki etkilerinden dolayı önemli bir araştırma konusudur**(2, 24)**. Özellikle nanoplastikler, küçük boyutları ve yüzey yükü nedeniyle çevresel taşınımda daha kolay taşınır ve biyolojik sistemlerle de daha çok etkileşime girebilmektedir.

Mikro ve nanoplastiklere maruziyetin başlıca yolları kontamine içme suyu ve gıdaların tüketimi, inhalasyon ve çevresel temas yer almaktadır. Buunların organizmaya girişnden

sonra gastrointestinal sistem, solunum sistemi ve dolaşım yoluyla farklı dokulara taşınabilir ve biyolojik bariyerleri aşabilirler **(6, 9, 42)**. Özellikle plasenta gibi biyolojik bariyerlerde dahi mikroplastik varlığı tespit edilmiştir. Bu da partiküllerin sistemik dağılım potansiyeli olduğunu göstrerir **(9, 42).**

Hücresel düzeyde bakıldığında, mikro ve nanoplastiklerin etkileri partikül boyutu, yüzey yükü, şekli ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Nanoplastiklerin hücre zarını geçebilecek kadar küçük boyutta olması, endositoz gibi aktif taşıma mekanizmalarıyla hücre içine alınabilmesini sağlar **(4, 5, 7)**. Hücre içine giren bu parçacıklar sitoplazmada birikerek hücresel homeostazı etkileyebilecek çeşitli biyolojik yanıtları tetikler.

Nanoplastiklerin içselleştirme süreci; hücrelerde oksidatif stres artışı, inflamatuar yanıtların aktivasyonu ve hücre içi sinyal iletim yollarında bozulmalar ile ilişkilendirilmiştir **(11, 23)**. Mikro ve nanoplastikler hücrenin içerisine girip mitokondri , ERve lizozom gibi organellerle drekt etkileşime girerek etkilerini gösterebilirler . Etkilerini göstermek için her zaman organellerle doğrudan etkileşime girmelerine gerek yoktur sitoplazma içerisinde bulunarak da etkilerini gösterebilirler**(6, 29)**.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, mikro ve nanoplastiklerin maruziyetine bağlı organellerde toksik etkiler oluşabilir. Örneğin mitokondrilerde fonksiyon bozuklukları, enerji metabolizmasının aksaması ve reaktif oksijen türlerinin artışı gibi etkiler görülür **(15, 16)**. Endoplazmik retikulumda da stres , protein katlanma süreçlerinin bozulması ve hücresel stres yanıtlarının tetiklenmesi gibietkiler görülebilir **(18, 33)**. Bunların hepsi birlikte, hücresel bütünlüğün bozulmasına ve doku düzeyinde patolojik değişikliklere yol açabilir.

Bu bağlamda mikroplastik ve nanoplastiklerin etkilerinin yalnızca çevresel bir kirlilik problemi olarak değil, hücresel ve organel düzeyinde işleyen kompleks biyolojik toksisite mekanizmaları olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. **(2, 7, 15, 24, 33)**.

Yöntem

Bu çalışma, mikroplastik ve nanoplastiklerin hücresel ve organel düzeyindeki etkilerini konu almaktadır. MNP'lerin hücre zarına ilk temasından başlayan içselleştirme süreçlerini, mitokondri ve endoplazmik retikulum üzerinde oluşturduğu toksik etkileri, bağışıklık sistemiyle etkileşimlerini ve programlı hücre ölümü yolaklarını tetikleme potansiyellerini konu alan PubMed veri tabanındaki birçok güncel bilimsel makalenin analizi hazırlanmıştır .

Bulgular ve Tartışma

1. Hücreye Mikroplastik ve Nanoplastik Alımı ve İçselleştirilmeleri

Nanoplastik ve mikroplastiklerin hücresel içselleştirilmeleri, hücrenin zarına ilk yapışmayla başlar **(1)**. Bu parçacıkların hücresel içselleştirilmesi ve hücreye giriş hızı, hücrenin tipine, parçacıkların boyutu, morfolojisi, yüzey kimyası ve yüzey yükü gibi fizikokimyasal özelliklerine göre değişir. Bunlar aynı zamanda tercih edilen endositik yolakları ve sitotoksisite düzeyini de belirler**(2, 3)**.

Mikro ve nanoplastiklerin içselleştirilmesinde küçük parçacıklar pasif difüzyonu kullanırken daha büyük parçacıklar aktif taşıma yolunu kullanabilirler. Pasif difüzyon genellikle hücre içi bileşenlerle doğrudan temas kuran küçük parçacıkların hücre içine

alınmasında kullanılır **(3)**. Aktif taşıma ise genellikle daha büyük parçacıkların hücre içine alınması sırasında kullanılan kaveola ve klatrin aracılı endositozu içerir. Bu büyük parçacıklar içselleştirildiği zaman zarlar tarafından sarılır ve bunlar hücreye giren agregatlar oluşturur**(3)** .

Endositoz da iki ana yola ayrılır. Bunlar pinositoz ve fagositozdur. Fagozitoz, bu durum için özelleşmiş hücreler tarafından kullanılır. Bunlar makrofaj ve nötrofil gibi fagositik hücrelerdir. Bazı hücrelerde içselleştirmenin ana yolu klatrin aracılı endositozdur. Endotel hücrelerinde ise kaveolin aracılı endositoz ana yol olarak kullanılır**(4, 1)**. Yapılan çalışmalarda, klatrin aracılı endositozun nanopartikül emiliminde rol oynadığı bulunmuştur. Ek olarak nanoplastikler; böbrek epitel hücrelerinde (293T), kemik iliğinden türetilmiş makrofajlarda (BMDM) ve fibroblastlarda (L929), makropinositoz ve fagositoz yoluyla içselleştirilirler**(1)**.

Bu da içselleştirmenin sadece klasik endositoz yollarının pasif bir sonucu olmadığını gösterir. Özellikle makropinositoz sırasında hücre zarında belirgin uzantıların oluştuğu ve bu değişimlerin alım sürecinde rol oynadığı bildirilmektedir **(2, 5)**. Ayrıca farklı hücre tipleri aynı parçacığı içselleştirirken farklı yolakları kullanabilirler. Hücreye alım düzeyleri hücresel özelliklere göre değişir **(2)**.

Farklı yollar olsada nanoplastiklerin çoğu hücreye alınırken enerji bağımlı endositoz yollarını kullanır**(2, 5)**. Endositoz sonrasıda nanoparçacıklar endozomal kompartımanlara yönlendirilir ve geçici olarak burda depolanabilir. Bazı durumlarda da endozomal kaçış yoluyla sitoplazmaya geçebilirler **(2)**.

Endositozun miktarı ve hızı, plastik parçacıkların boyutu ile değişkenlik gösterir. 50 nm PS nanoplastikler, daha büyük olanlarına göre daha fazla endositozla geçiş gösterir **(1)**. Yine hücre zarını daha fazla geçerek sitoplazmaya ulaşır . Bunlar lizozomlar başta olmak üzere çeşitli organellere yerleşebilir ve hücrenin fizyolojisini etkileyebilir **(2)** .

İnvitro ince bağırsak epitel modelinde yapılan çalışmada, yutulan mikro-nanoplastiklerin doğrudan toksisiteye sahip olsuğu söyleniyor. Nanoplastikler, invitro enterositlere (çekirdekleri de dahil olmak üzere) girip içerisinden geçebilir**(6).**

İçselleştirme sonrasında, eğer nanoplastikler ve mikroplastikler hücreden atılacaksa enerjiye bağımlı ve bağımsız yollar kullanılabilir. Lizozomlar içerisinde ekzositozla hücreden atılmak için hazırlanan plastik parçacıkları hücre zarına taşınır . Bunlar paketlenip hazır oldukları için sitoplazmadakilere oranla atılım süreçleri daha hızlı ve kolay olur **(1, 7)**.

2. Oksidatif Stres ve İnflamasyon Süreçlerinde Nano ve Mikroplastiklerin Rolü

2.1. Serbest Radikal Oluşumu ve Moleküler Hasar

Serbest radikaller, bir ya da daha fazla eşleşmemiş elektrona sahip atomlar veya atom grupları olarak tanımlanır ve oksidatif reaksiyonlara yatkınlık gösterir **(8)** . Canlı sistemlerde reaktif oksijen türleri (ROS), tek oksijen kaynaklı veya süperoksit gibi serbest radikallerden ya da hidrojen peroksit gibi radikal olmayan moleküllerden oluşur **(8)** . Nano ve mikrolastikler elektron vericiler olarak süperoksit radikalleri üretebilir . Bunlar metallerle reaksiyona giren hidrojen peroksit, Fenton reaksiyonu ile hidroksil radikallerine veya Haber–Weiss reaksiyonuyla süperoksit radikallerine dönüşebilir **(8)** .

Nanoplastik ve mikroplastiklerin hücre içine alınması hücre içinde serbest radikallerin oluşmasına neden olur. Bu da ROS seviyelerinin yükselmesine ve ardından oksidatif strese yol açar. Hücreler içindeki nano ve mikroplastiklerin varlığı ve buna bağlı oluşan ROS aşırı yüklenmesi organellere zarar verip ve işlevlerini bozabilir **(8)** .

Nanoplastik maruziyetinde dolayı gelişen oksidatif stres, hücresel hasarla sınırlı kalmayıp inflamatuvar yanıt mekanizmalarını da tetikleyebilir. Artmış ROS düzeyleri, redoks-duyarlı sinyal yolaklarını aktifleştirerek NF-κB ve MAPK gibi moleküler düzenleyicilerin ekspresyonunu artırabileceği bildirilmiştir. Bu aktivasyon, başta IL-6, IL-1β ve TNF-α olmak üzere çeşitli proinflamatuvar sitokinlerin artışına yol açabilir **(8, 11)** .

2.2. Hücresel inflamasyon ve yanıtları

Nanoplastik maruziyeti, insan mast ve mikroglial hücre hatlarında pro-inflamatuvar sitokinler ve histaminin artmasına neden olduğu görülmüştür **(8)** . Bu sitokinlerden IL-6 üretimi, gastrik, meme ve karaciğer hücre hatlarında ve keratinositlerde gözlenmiştir. Bu durum polistiren mikroplastiklerin pro-inflamatuvar yanıtları tetiklediğini gösterir **(8, 9)**. Nanoplastiklere maruziyete bağlı olarak gelişen oksidatif stres ile inflamasyon arasındaki ilişkinin, maruziyet süresi, partikül boyutu ve yüzey özellikleri gibi değişkenlere bağlı olarak değişebileceği bildirilmektedir. Bundan dolayı süreçlerin farklı hücresel ve deneysel modellerde incelenmesi gerekir **(9)** .

Oksidatif stres ve inflamatuar yanıt süreçleri üzerindeki nanoplastiklerin etkileri, özellikle akciğer hücre modellerinde incelenmiştir. ‘‘Pulmonary toxicology assessment of polyethylene terephthalate nanoplastic particles in vitro’’ başlıklı araştırmada, polietilen tereftalat bazlı nanoplastiklerin A549 gibi insan akciğer hücrelerinde içselleştirilmesinden sonra ROS üretimini artırıp ve mitokondriyal membran potansiyelini azalttığı gözlemlenmiştir **(10)**. Bu ROS artışı, hücresel stres yanıtlarının tetiklenmesine eşlik edebilir ve antioksidan savunma sistemlerinde bozulmalara yol açabilir **.** Ayrıca, maruziyetin mitokondriyal membran potansiyelini düşürdüğü ve oksidatif stresin hücresel homeostaz üzerinde önemli etkiler yaratabileceği gözlemlenmiştir **(10)**.

Hücrelerde artan ROS ile redoks dengesini korumak için antioksidan savunma mekanizmalarının aktive olduğu görülmüştür **(12)**. Bu savunma yanıtının da her zaman yeterli olmadığı ve uzun süreli hücresel streste ek koruyucu süreçlerin de devreye girebildiği ifade ediliyor(örneğin otofaji) **(12)**.

PS nanoplastiklerin neden olduğu oksidatif ve inflamatuar stres, antioksidan yanıt yolunu tetiklemiş ve otofajik yolu aktive etmiştir **(12, 13)**. Lizozomlarda oluşan aksaklıklar sonucunda otofajik yıkım sürecinin etkinliğini azalır ve hücredeki stresin sürmesine neden olmuştur. Bu durum, nanoplastiklerin sadece otofajiyi indükleyen bir stres faktörü olmadığını aynı anda otofajik sürecin düzenli işleyişini sekteye uğratabilen bir etken olabileceğini gösterir **(12, 13)**.

3.Nanoplastik/ Mikroplastiklerin Mitokondriye Etkileri

Nanoplastikler, küçük boyutlarından ve yüzey özellikleri sayesinde mitokondrilerle doğrudan etkileşime girebilirler. Mitokondriler, ATP üretiminden sorumlu temel organeldir ve hücresel enerji metabolizmasının düzenler. Aynı zamanda Ca^{+2} dengesinin

korunmasını, ROS oluşumu ve apoptozun düzenlenmesi gibi hücresel süreci kontrol eder **(14)**.

Mikro ve nanoplastiklere maruziyet, mitokondriyal bütünlüğü bozabilir. Bunun sonucunda yapısal hasar ve fonksiyon kaybına neden olur . Bu bozulmalar, normal fonksiyonu olan hücrenin fonksiyonlarını sekteye uğratır ve hücre ölümünü tetiklemeye uygun ortam hazırlar. Özellikle farelerde yapılan deneyler, mikro ve nanoplastiklerin mitokondrilerde etkisi olarak şişme, krista yapısında kayıp ve morfolojik bozulmalar gibi değişikliklere yol açabildiğini göstermiştir **(14)**. Bu bulgular, mikro ve nanoplastiklerin hücresel düzeyde toksik etkilerini göstermiştir ve mitokondriyal işlev üzerindeki kritik rolünü ortaya koymuştur **(14**, **15)**. Bu da partiküllerin hücre sağlığı üzerinde yaratabileceği potansiyel risklerin anlaşılmasını sağlar **(14)**.

Mikro ve nanoplastiklerin mitokondri ile etkileşimleri, organelin sadece yapısını değil, aynı zamanda fonksiyonlarını da bozabilmektedir. Bu durum hücre içindeki toksik etkilerin şiddetini artıran önemli bir mekanizmadır **(14)**. Nanoplastiklerin ETZ'yi bozarak enerji üretimini olumsuz etkileyebilir. Bu bozulmalar, ATP'nin azalmasına ve hücresel enerji dengesindeki bozulmaya neden olur **(14**, **15**).

Nanoplastik maruziyetinin hücrelerde mitokondriyal protein yanıtını (mt-UPR) aktive edebileceği ve bunun da hücreyi koruyan bir mekanizma olduğu bilidirilmiştir. Bu savunma süreci, özellikle mitokondriyal stresin yönetilmesinde rol oynayan proteinlerin artışı ile ilişkilidir **(16).**

4. Nanoplastik/Mikroplastik Kaynaklı ER Stresi ve Otofaji Yanıtları

Mikroplastiklerin kemik dokusunda birikip osteositlerde oksidatif stres yanıtlarını tetikleyerek kemik iliği fonksiyonlarının bozulmasına ve organizma düzeyinde sistemik toksisiteye neden olabileceği bildirilmiştir **(17)**. Nanoplastiklerin fizikokimyasal özelliklerinde bu stres yanıtlarının şiddetini etkileyebileceği düşünülmektedir. Deneysel çalışmalar, özellikle yaşlanmış polistiren nanoplastiklerin bozulmamış partiküllere kıyasla daha güçlü oksidatif stres yanıtları oluşturabilir. Hücre içi oksidatif stresin artması, ER lümeninde yanlış katlanmış veya açılmış proteinlerin birikmesine yol açar. Bunlar ER stresinin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir . Bu durum da, hücrelerin protein katlanma dengesini yeniden sağlamaya için koruyucu mekanizma olan açılmış protein yanıtının aktive eder**(17)**.

Deneysel modellerde de nanoplastik maruziyetinin ER stres yanıtı üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Zebra balığı larvalarında yapılan çalışmalarda, yaşlanmış PSNP maruziyetinin ER stres göstergesi olan GRP78 proteinini artırdığı saptanmıştır. Bu bulgular, yaşlanmış nanoplastiklerin oksidatif stres oluşumunu tetikleyerek ER stres sinyal yollarının aktivasyonuna katkıda bulunabileceğini düşündürmektedir. ER stresi, hücresel homeostazın korunmasında rol oynayan önemli mekanizmalardan biri olan otofaji ile yakın ilişkilidir. Otofajinin başlaması, ULK1 kompleksinin aktivasyonu ile gerçekleşir. Bu kompleks genellikle ER membranı ile ilişkili noktasal yapılar oluşturarak otofajinin erken aşamalarını düzenler **(17)**.

Deneysel bulgular, yaşlanmış PSNP'lere maruziyette zebra balığı larvalarında otofagozom oluşumu sırasında fagofor zarının uzaması için gerekli olan proteininin nanoplastik maruziyeti sonrasında azaldığı göstermiştir. Buna karşılık, otofagozomların

lizozomlarla birleşmesini düzenleyen temel bir GTPaz olan RAB7 proteininin üretiminde yüksek düzeyde bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum, nanoplastik maruziyetinin otofaji sürecinin düzenleyici bileşenlerinin farklı yönlerde etkilenebileceğini gösterir **(17)**.

Çevresel etkenlerle yaşlanmış nanoplastiklerin, bozulmamış partiküllere oranla daha çok oksidatif stres ve ER stresi oluşturduğunu gösteriri. Örneğin zebra balığı modellerinde ER stres belirteci olan GRP78 üretiminin gözle görülür bir şekilde arttığı görülmektedir **(2, 18).**

Pozitif yüklü nanoplastiklerin maruziyeti sonrası hücrelerde ER stresi tetiklenmektedir. ER stres proteinlerinin ekspresyonunun da arttığı görülmektedir. Bu olay, ER stres yolaklarının aktive olduğunu ve hücresel homeostazın bozulabileceğini gösterir. Ayrıca, lizozomlarda nanoplastik birikimi otofajik süreci indükler ve uzun süreli birikim durumunda otofajik hücre ölümüne yol açabilir. Hayvan modellerinde de maruziyetin, proinflamatuvar sitokin üretimini artırdığı gösterilmiştir. Bu bulgular, nanoplastiklerin ER stresi ve otofaji mekanizmaları üzerinden hem hücresel hasarı hem de inflamatuvar yanıtları düzenleyebildiğini gösterir **(18)(8) .**

Nanoplastik maruziyeti aynı zamanda gelişimsel süreçleri de etkileyebilir. Zebra balığı modelinde yapılan analizlerde kemik gelişimiyle ilişkili genlerin üretiminin baskılandığı ve bu moleküler değişikliklerin iskelet gelişiminde bozulmalarla ilişkili olabileceği düşünülüyor. Bu bulgular, nanoplastiklerin oksidatif stres ile ER stres yanıtı arasındaki etkileşimi güçlendirdiğini, otofajiyi olumsuz etkileyebildiğini ve biyolojik süreçlerde çeşitli bozukluklara yol açabileceğini göstermektedir **(17) .**

5. Hücresel Düzeyde Nanoplastik/Mikroplastik–Bağışıklık Sistemi Etkileşimi

5.1. Mekanik ve Dokusal Yanıtlar

Büyük mikroplastiklerin maruziyeti metabolik bozukluklara neden olur. Bu olay, mekanik uyarıları gen ekspresyon değişikliklerine dönüştüren hücresel mekanosensör olan YAP ile bağlantılıdır **(19, 20)**. Daha büyük boyuttaki mikroplastikler hücre içine girmeden epitel yüzeyinde fiziksel baskı oluşturabilir. Bu mekanik etki hücre iskeletinde bozulmaya ve YAP sinyal yolunun aktivasyonuna yol açabilir . YAP'ın aktive olması, hücresel enerji metabolizmasının oksidatif fosforilasyondan anaerobik glikolize kaymasına neden olur. Bu, glikolize eğilimli metabolik yeniden programlamaya ve hücrelerin adaptif kapasitelerinde değişimlere neden olur **(19, 20)**. YAP inhibitörü verteporfin ile yapılan müdahalelerin bu sinyal yolunu baskılayarak inflamatuvar yanıtı azaltabildiği gösterilmiştir **(20).**

Nanoplastiklerin bağırsak epitel hücreleri üzerindeki, toksik stres oluşturmakla kalmaz. Hücresel sinyal ağlarını ve epitel bariyer bütünlüğünü de doğrudan etkileyebilir. Hücreler arası iletişimdeki değişiklikler, epitel ve bağışıklık hücreleri arasındaki dinamik etkileşimleri etkilr. Bu lokal mukozal bağışıklık tepkilerinin yoğunluk ve süresini belirleyen temel bir faktördür . Sonuç olarak, nanoplastikler bağırsak epitelinde metabolik ve immün etkiler oluşturur ve sistemik bağışıklık yanıtını dolaylı olarak da olsa etkiler. Bu da pro-inflamatuar sinyaller, ferroptoz ve mekanik stres yanıtlarıyla ile ilişkilidir. **(20).**

100 nm boyutundaki nanoplastiklerin hücrelerde oksidatif stres oluşumuna yol açarak ferroptozu tetikleyebildiği bildirilmiştir . Ferroptotik hücre ölümü sonrası açığa çıkan

bileşenler, bağırsak dokusunda dendritik hücre ve $CD8^+$ T hücre infiltrasyonunu artırabildir. **(20, 21)**.

5.2. Doğuştan Gelen Bağışıklık Hücrelerinde Yanıtlar

Mikro ve nanoplastik (MNP) maruziyeti, doğuştan gelen bağışıklık sistemi hücrelerinin işlevlerini etkileyebilir. Yine çeşitli bağışıklık hücreleriyle etkileşime girerek sitokin üretimi ve inflamatuvar yanıtların düzenlenmesine yol açabilir . İnsan bağışıklık hücrelerinde yapılan çalışmalarda, maruziyetin pro-inflamatuar sitokin ve histamin salınımını artırarak immün yanıtları sürekli aktif hâle getirdiği saptanmıştır . Bu durum, bölgesel bağışıklık tepkilerinin hem şiddetini hem de süresini etkileyebilir **(22)**.

Farklı boyutlardaki Mikroplastik parçacıkları, immün hücrelerde transkripsiyonel düzenlemeyi etkileyebilir. Bu da, enzim aktivitesi ve sitokin üretiminde değişikliklere yol açar. Yapılan kısa süreli maruziyet deneylerinde, polimerlerin bağışıklık hücrelerinde inflamatuar yanıtı artırdığı gözlemlenmiştir**(22)**. Bu veriler, MNP'lerin akut faz inflamatuar yanıtı aktive edebildiğini ve bağışıklık hücrelerinin fonksiyonel durumunu kalıcı olarak değiştirebileceğini gösterir **(22).**

Mikroplastiklerin makrofajlar üzerindeki etkileri de önemlidir. Maruziyet, hücrelerin M1 fenotipine kaymasını destekleyebilir ve pro-apoptotik gen ile proteinlerin üretimini artırabilir . Bunlar, sadece inflamasyonu artırmakla kalmayıp hücrenin yaşam–ölüm dengesini de düzenleyebileceği düşünülüyor **(22)**. Dolayısıyla, MNP maruziyeti bağışıklık sisteminde sitokin yanıtını ve hücresel adaptasyonu düzenleyerek bağışıklık homeostazını etkiler **(22, 23)**. Nanoplastik maruziyetinin organizma modellerinde yapılan çalışmalarında, nötrofillerde NET salınımına yol açtığı kanıtlanmıştır **(23)**. Bunlar, nanoplastiklerin hücresel düzeyde doğuştan gelen immün yanıtı şiddetli bir şekilde etkileyebildiğini gösterir. Buna bağlı gelişen potansiyel olarak kronik bir immün stres tablosu oluşabilir **(22)**.

Makrofaj toksisitesinin önemli bir belirleyicisi , partiküllerin ROS oluşturma kapasitesidir. Bu kapasite arttıkça inflamatuvar yanıt düzeyi de yükselir . MNP–makrofaj etkileşimi, partiküllerin hücreye alınmasından sonra oksidatif stres, inflamatuvar sitokin üretimi ve hücresel hasar mekanizmalarını tetikleyebilir **(24)**.

Makrofajlarda polistiren nanoplastiklere maruziyet, hücre içi oksidatif dengenin bozulmasıyla ilişkilidir. Buna yanı sıra hücre proliferasyonu ve canlılığında azalma, mitokondriyal membran potansiyelinde düşüş, DNA hasarı ve apoptotik yanıt oluşabilir **(24)**. PS-NP maruziyeti makrofajlarda hücre içi lipid damlacığı birikimini etkileyebilir ve lipid metabolizmasında değişikliklere yol açabilir . Bazı çalışmalarda ise maruziyetin insan makrofajlarının üzerinde gözle görülür bir etki göstermediği de bildiriliyor **(24)**.

MNP'lere, periferik kan mononükleer hücre(PBMC)lerinde maruziyet, immün hücre aktivasyonuna yol açabilir ve proinflamatuvar sitokin salınımını artırabilir **(25, 26)**. Yüksek konsantrasyonda plastik parçacıkları akut inflamatuvar yanıtı belirginleştirebiliri ve uzun süreli maruziyet hücre ölümü ile ilişkilidir **(25, 26)**. Benzer bir şekilde, polipropilen (PP) partiküllerinin daha küçük boyutları ve daha yüksek konsantrasyonları inflamatuvar yanıtı daha güçlü oluşturabilir. **(24, 26)**. Ayrıca, şekilleri düzensiz olan parçacıklar küresel olanlara kıyasla daha yüksek inflamatuvar yanıt oluşturur**(24, 25) .**

Nötrofiller bu yaptıkları, bölgesel inflamatuvar sitokin üretimini artırır. Bunun yanında bağışıklık hücrelerinin aktivasyonunu ve dokuya göç süreçlerini de yeniden şekillendirir. Yani organizmanın genel bağışıklık homeostazı üzerinde kalıcı ve bozucu etkiler yaratabilmektedir **(25, 26)**.

Mikro ve nanoplastiklere kısa süreli maruziyetlerde aktivasyon ve adaptif yanıtlar baskındır. Uzun süreli veya kronik maruziyetlerde ise apoptotik süreçler artarak potansiyel immün disfonksiyona yol açabilir. Bu bulgular, mikroplastiklerin merkezi sinir sistemi hücrelerinde bağışıklığı düzenleyebilir . Sonuç olarak nanoplastik/mikroplastik maruziyeti hücresel düzeyde hem immün yanıtları hem de inflamatuvar dengeyi etkiler diyebiliriz **(27).**

6. Nanoplastik/Mikroplastik Maruziyeti ile Hücre Ölümü ilişkisi

6.1. Programlı Hücre Ölümü Yolakları: Apoptoz, Ferroptoz, Nekroptoz ve Piroptoz

Mikro ve nanoplastiklere maruziyet sonrası çoğu sistem hücrelerinde oksidatif stres artışı, mitokondriyal membrann bütünlüğünde bozulma ve ROS artışı görülmüştür. Bunlar hücrenin canlılığında azalmalara ve hatta hücre ölümleri bile sebep olabilir. Örneğin A549 hücreleri üzerinde, inflamatuar yanıtları tetiklediği, hücre proliferasyonunu etkilediği ve ileri düzeylerde maruziyette apoptoza yol açtığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar, PS-NP maruziyetinin pro-inflamatuar sitokinlerin transkripsiyonunu yüksek düzeylerde artırdığını göstermektedir. Maruziyetin apoptoz ile ilişkili proteinlerin ekspresyonunu arttırdığı görülmüştür **(24)**.

PS-NP'ler, küçük boyutları ve biyobirikim özellikleri nedeniyle önemli bir çevresel ve sağlık riski oluşturmaktadır. PS-NP'ler birçok hücre ölüm yolunu tetikler. Bu ölüm yollarından bazıları ; apooptoz, ferroptoz ve nekroptozdur. Nanoplastiklerin toksisitesi; parçacık boyutu, yüzey özellikleri, kirleticilerle eş zamanlı alınması ve protein korona oluşumu gibi faktörlere Bağlı olarak değişir**(2)**. Özellikle 20 nm ile 100 nm arasındaki çok küçük parçacıklar, hücrelerin daha kolay içselleştirme sini sağlar. Bunlar daha büyük yüzey alanına sahip oldukları için daha yüksek toksik etki gösterir **(28).**

PS-NP'ler, pro-apoptotik proteinlerin artmasına neden olur ve mitokondriyal hasar aracılığıyla apoptozu tetikleler . Bu süreçte ilgili sinyal yolu aktive edilir. Bu da Ca^{+2} un çok fazla artmasına ve mitokondriyal membran depolarizasyonuna sebep olur. PS-NP maruziyetinin başka bir etkisi ise anti-apoptotik Bcl-2 seviyelerini düşürüp pro-apoptotik Bax'ı artırmaktır. Bunlar TLR4 sinyal yolunu aktive ederek apoptozu indükler. Ferroptoz ise oksidatif stres ve bozulmuş demir metabolizması ile indüklenir. Bu yol glutatyon seviyelerinin azalması, lipid peroksidasyonu ve GPX4 ile ferritin proteinlerinin azalmasına bağlı gelişir **(28)**.

PS-NP'ler, kinaz aktivasyonu yoluyla nekroptozu tetikler ve bu mitokondriyal disfonksiyon ve artan ROS düzeyleriyle ilişkilidir. Piroptoz sürecinde ise inflamozom aktivasyonu ve hücre membranının yırtılmasına neden olan gastrin D bölünmesi gerekir. PS-NP maruziyetinde, proinflamatuar içerik salınması ve doku inflamasyonu da gerçekleşebilir**(28)**. Bu etkiler, nanoplastiklerin çeşitli doku ve organlar üzerinde çok yönlü zararlı etkilerinin olduğunu gösterir**(28, 29)** .

Eş zamanlı olarak gelişen etkiler, DNA çift zincir kırılmaları ve oksidatif DNA lezyonları yoluyla genomik stabiliteyi bozar . Bu hasarlar devam ettiği sürece hücresel yaşlanma veya programlanmış hücre ölümü tehdit oluşturur **(2, 30).**

6.2. Oksidatif Stres ve Mitokondriyal Hasar Aracılı Ölüm Mekanizmaları

Hücrelerdeki bu inflamatuar yanıtlar ve indüklenen apoptoz süreçlerinin, pulmoner fibrozis riskini artırır. PS-NP'ler NOX4 aktivasyonuna yol açarak mitokondriyal disfonksiyon ve ER stresini tetikler. Buda pulmoner fibrozis için kritik bir adım olan Epitelyal-Mezenkimal Geçişi (EMT) indükler **(24, 31)**.

Nanoplastiklerin maruziyeti sonucunda üreme sisteminde de hücresel canlılığın azalması ve programlı hücre ölümü görülebilir . Erkek üreme sisteminde, küçük PS-NP'ler endositoz yoluyla hücre içine girerek mitokondriyal yapıya ve DNA bütünlüğüne zarar verebilir. Benzer şekilde, dişi üreme sisteminede granüloza hücrelerinde maruziyetin Hippo sinyal yolunu aktifleştirerek oksidatif stresi indüklediği gözlemlenmiştir . Mitokondriyal membran potansiyeli kaybına ve hücre döngüsü durmasına bağlı olarak apoptozun tetiklendiği belirlenmiştir. Bu değişimlere bağlı folikül gelişiminin baskılanarak hormonal sekresyonun ve doğurganlığın olumsuz etkilenebileceği düüşünülüyor **(24, 32) .**

Daha önce bahsettiğimiz bağışıklık sistemi hücreleri üzerinde mikro ve nanoplastiklerin yarattığı toksik etkiler de hücre ölümü süreçlerini tetikler. Örneğin makrofajlar üzerinde yapılan çalışmalarda, apoptozun maruziyete bağlı indüklendiği saptanmıştır **(24, 32)**. Ayrıca, PBMC'lerde de daha önce bahsettiğimiz etkiler sonucunda hücre ölümü tetiklenebilir.

Mikro ve nanoplastiklerin hücrelerde oluşturduğu en temel toksik etki, ROS üretiminde artışa neden olmasıdır. Bu süreç sonucu oluşan serbest radikaller; DNA, protein ve lipidler gibi makromoleküllerde oksidatif hasara neden olur **(8)**. Artan oksidatif stresin, hücresel işlev bozukluğu, yaşlanma ve apoptoz gibi programlı hücre ölümü süreçleri ile ilişkilidir **(8)**.

PS-NP'ler mitokondriyal membran potansiyelini bozarak ve ETZ'deki aksamalar yoluyla süperoksit sızıntısına yol açabilir ve hücre canlılığını kaybetmeden önce hızlıca mitokondriyal hasarı başlatır **(2, 14)**. Ayrıca, ER stresi ve UPR) aktivasyonu, stresin şiddetli veya kronik olması durumunda apoptoza neden olmaktadır **(2, 33)**. Özellikle, pro-apoptotik transkripsiyon faktörünün artması, ER'den Ca^{+2} salınımı, mitokondriyal hasar ile birleşir ve hücreyi apoptoz , ferroptoz gibi hücre ölüm yollarına sürükler **(2, 33)**.

6.3. Endoplazmik Retikulum Stresi ve Otofajik Hücre Ölümü

Bronşiyal epitel hücre hattında, PS-MP'lere maruz kalmak, ROS üretimini tetikler bu durumun oksidatif hasara, inflamatuar faktörlerin salınımına, sıkı bağlantı proteini ZO-1'e bağlı akciğer epitel bariyerlerinin bozulmasına ve α1-antitripsin üretiminde azalmaya yol açar. Yapılan çalışmalarda PS-NP maruziyetinde apoptoz aracılı hücre ölümlerinin gerçekleştiği ve buna bağlı olarak alveolar bariyer bütünlüğünde hasarların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Özellikle pozitif yüklü olanlar, ER stresini tetikler ve bronşiyal epitelyumda otofajik hücre ölümüne yol açar **(24, 34)**.

İnsan primer nazal epitel hücrelerinde yapılan araştırmalarda, PS-NP'lerin ve PET-NP'lerin
içselleştirildiğini, bunun da ROS üretiminde artışa ve mitokondriyal membran potansiyelinde azalmaya yol açtığını gösterir. Bu süreçte bazı proteinlerin artışıyla otofaji yolunu aktive edilmiştir. Ancak bu toksik etkilere rağmen hücrelerde canlılıkla ilgili gözle görülen bir düşüşe rastlanmamıştır **(24, 34)**.

GİS hücre modellerinde, polistiren mikroplastiklerin hücre proliferasyonunu inhibe ettiği gözlemlenmiştir. Bunun yanında pro-inflamatuar sitokinlerin salınımını tetikleyen sinyal yollarını aktive ettiği saptanmıştır . Nanoplastik maruziyetinin ise pro-apoptotik otofaji süreçleri etkileyerek otofajiye bağımlı hücre ölümünü indüklediği bildirilmiştir. Bronşiyal epitel hücrelerinde olduğu gibi sıkı bağlantı proteinlerin yapımını azaltarak bariyer bütünlüğünde azalmaya sebep olabilir **(24, 35)**.

Endotel hücreleri üzerinde yapılan çalışmalarda da benzer şeyler görülmüştür. Sitoplazmada aşırı otofaji ile ilişkili nekrozu indüklediğini gözlenmiştir . Özellikle 0.5 µm boyutundaki partiküllerin hücresel canlılığı, anjiyogenez ve migrasyon kapasitesini baskılayıp hücre ölümünü tetiklediği vurgulanıyor**(24, 36)**.

Mikro ve nanoplastiklerin nörotoksik etkileri; hücre canlılığında azalma, apoptoz ve otofajinin tetiklenmesiyle doğrudan ilişkilidir . İnsan sinir kök hücrelerinde de maruziyet sonrası diğer sistem hüclereinde gözlenen toksik etkiler gözlenmiştir **(24, 37)**. SH-SY5Y nöroblastoma hücrelerindeyse PS-NP'lerin apoptozdan çok, hücre membran bütünlüğünü bozarak nekroza yol açtığı gözlenmiştir. Bunlara ek olarak ilgili sinyal yolunun aktivasyonuyla yüksek orandaki mitokondriyal otofaji sonucu dopaminerjik nöron ölümünün tetiklediği bildirilmiştir . Merkezi sinir sisteminin bağışıklık hücrelerinin PS-MP'leri fagosite etmesi sinyal yollarının aktivasyonuyla inflamatuar yanıtları ve hücre apoptozunu indüklemektedir . Bunların, Parkinson ve ALS gibi hastalıklarla ilişkili olabileceği düşünülüyor **(24, 38)**.

Benzer şekilde insan proksimal tübüler epitelyal böbrek hücrelerinde, vasküler endotel hücrelerinde ve plasental hücrelerde de maruziyetin hücresel canlılığı tehdit ettiği bildirilmiştir **(8, 39, 40)** .

6.4. Fizikokimyasal Özelliklerin Sitotoksisite Şiddeti Üzerindeki Etkisi

MNP'lerin kardiyovasküler sistemdeki toksik etkileri; hemoliz, tromboz ve endotel hasarı gibi mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşir. Bunlar hücre ölümü ve vasküler disfonksiyon ile ilişkilendiriliyor **(24, 41)**. İnsan eritrositlerinde maruziyetin doz ve boyuta bağlı olarak hemolize yol açtığı görülmüştür. Özellikle amin modifiyeli partiküllerin anyonik fosfolipitlerle etkileştiği trombosit membranlarını bozduğu ve prokoagülan aktiviteyi tetiklediği saptanmıştır **(24, 41)**.

Mikro ve nanoplastiklerin toksisitesi; partikül boyutu, yüzey yükü, yüzey alanı gibi fizikokimyasal özelliklere bağlıdır**(24, 41)**. Çevresel aşınma süreçleri plastiklerin kimyasal kompozisyonunu değiştirir. Kimyasal modifikasyonların toksisite üzerindeki uzun vadeli etkileri büyük önem taşır **(24, 42)**. Küçük boyut, pozitif yüzey yükü ve keskin kenarlı mikro ve nanoplastikler daha toksik etki gösterirler **(8, 22)**. Bu özelliklere sahip olanlar mitokondriyal ve lizozomal membran bütünlüğünü bozabilir ve hücre ölümü süreçlerini etkiler**(8)**.

Sonuç

Mikro ve nanoplastiklerin etkileri, hücre zarına ilk tutunmasıyla başlar. Fizikokimyasal özelliklerine göre çok yönlü bir süreci kapsamaktadır. İçselleştirme kapasitesini ve hızını belirleyen en önemli faktör olduğunu parçacıkların boyutudur. Küçük parçacıklar pasif difüzyonla hücre içine sızabilirken, daha büyük parçacıklar klatrin veya kaveolin aracılı endositozla hücre içerisine girer.

Hücre içine giren bu parçacıklar, ROS'un çok fazla üretilmesine yol açar ve şiddetli oksidatif stresi başlatır. Oluşan bu dengesizlik; lipit peroksidasyonu, protein hasarı ve DNA hasarı gibi kalıcı hasarlara zemin hazırlar. Redoks-duyarlı sinyal yollarının aktive edilerek proinflamatuvar sitokinlerin salınımını tetiklenir. Özellikle pozitif yüklü amin-modifiye nanoplastikler ve çevresel etkilerle aşınmış pürüzlü parçacıklar, membran bütünlüğünü daha şiddetli bozar. Bu da daha yüksek ROS üretimine neden olur ve inflamatuvar yanıtı güçlendirir.

Organel düzeyindeki zararlar, mikro ve nanoplastiklerin toksisitesinin temelini oluşturur. Mitokondrilerde krista yapısının bozulması, membran potansiyelindeki düşüş ile ATP sentezinin azalması ve bunun da hücresel enerji dengesini bozması gibi değişiklikler. Mikro ve nanoplastik maruziyetiyle fonksiyonu bazulan bir diğer organel ER dir . Bozulma sonucunda ER de yanlış katlanmış protein sayısı artar ve ER stresi gelişir. Sinyal yolları bu yanlış olan katlanmaları düzeltmek için UPR'yi kullanır. Lizozomlarda nanoplastiklerin birikmesi otofajik akışı durdurur bu da hücrenin temizleme mekanizmalarını bozarak hücresel stresin kronikleşmesine neden olur.

Makrofaj ve nötrofillerin MNP'leri fagosite etmesi degranülasyon ve NET salınımına yol açar. Büyük boyuttaki mikroplastikler hücre içerisine girmeseler de epitel yüzeylerinde mekanik baskı oluştururlar ve YAP sinyal yolunu aktifleştirerek enerji metabolizmasını glikolize kaydırır. Oksidatif fosforilasyon yerine glikoliz ile enerji üretimine geçirilir. Bu da verimli enerji yerine daha az verimde enerji demektir. Periferik kan lenfositlerindeyse maruziyetin nükleer bölünme indeksini düşürür ve kromozomal hasarı artırır.

Tüm bu faktörler sonucunda da hücre stresi artar ve hücre apoptoz, ferroptoz, nekroptoz ve piroptoz gibi farklı programlı ölüm yollarına sürüklenir. Bu yıkım süreçlerinin; pulmoner fibrozis, gastrointestinal bariyer kaybı, dopaminerjik nöron kaybı ile ilişkili nörodejeneratif hastalık riskleri gibi sorunlara neden olur. Sonuç olarak mikro ve nanoplastikler, fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak çok yönlü bir toksisiteye neden olur . Bunlar da insan sağlığı üzerinde geri dönülemez hasarlara neden olabilir.

Teşekkürler

Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi'ne bana bu çalışma imkânını sağladıkları için teşekkür ederim.

Kaynaklar

1) Popa, Raluca Paula, Tabaran, Alexandru Flaviu (2025). A systematic review of the toxicokinetics of micro- and nanoplastics in mammals following digestive exposure. *Applied Sciences*. 15(11): 6135. https://doi.org/10.3390/app15116135

2) Lin, Ruei-Hong, Chen, Hao-Ting, Lee, I-Ta, Vo, Thi-Thuy-Tien, Wang, Yung-Li (2025). Microplastics and nanoplastics in health concerning cellular toxicity mechanisms, exposure pathways, and global mitigation strategies. *Life*. 15(9): 1449. https://doi.org/10.3390/life15091449

3) Ruan, Yiming, Zhong, Zheng, Liu, Xin, Li, Ziwei, Li, Junxian, Sun, Lili, Sen, Hou (2023). Correlation between cellular uptake and cytotoxicity of polystyrene micro/nanoplastics in hela cells: a size-dependent matter. *PLOS ONE*. 18(8): e0289473. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289473

4) Hillaireau, Hervé, Couvreur, Patrick (2009). Nanocarriers' entry into the cell: relevance to drug delivery. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 66(17): 2873–2896. https://doi.org/10.1007/s00018-009-0053-z

5) Sahay, Gaurav, Alakhova, Dina Y., Kabanov, Alexander V. (2010). Endocytosis of nanomedicines. *Journal of Controlled Release*. 145(3): 182–195. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2010.01.036

6) DeLoid, Glen M., Cao, Xiaoqiong, Bitounis, Dimitrios, Singh, Dilpreet, Montero Llopis, Paula, Buckley, Brian, Demokritou, Philip (2021). Toxicity, uptake, and nuclear translocation of ingested micro-nanoplastics in an in vitro model of the small intestinal epithelium. *Food and Chemical Toxicology*. 158: 112609. https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112609

7) Liu, Ling, Xu, Kexin, Zhang, Bowen, Ye, Yiyuan, Zhang, Qiu, Jiang, Wei (2021). Cellular internalization and release of polystyrene microplastics and nanoplastics. *Science of The Total Environment.* 779: 146523. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146523

8) Mahmud, Faiza, Sarker, Drishty B., Jocelyn, Jonathan A., Sang, Qing-Xiang Amy (2024). Molecular and cellular effects of microplastics and nanoplastics: focus on inflammation and senescence. *Cells*. 13(21): 1788. https://doi.org/10.3390/cells13211788

9) Ragusa, Antonio, Svelato, Alessandro, Santacroce, Criselda, Catalano, Piera, Notarstefano, Valentina, Carnevali, Oliana, Papa, Fabrizio, Rongioletti, Mauro Ciro Antonio, Baiocco, Federico, Draghi, Simonetta, D'Amore, Elisabetta, Rinaldo, Denise, Matta, Maria, Giorgini, Elisabetta (2021). Plasticenta: first evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*. 146: 106274. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274

10) Zhang, Huajing, Zhang, Shuyi, Duan, Zhenghua, Wang, Lei (2022). Pulmonary toxicology assessment of polyethylene terephthalate nanoplastic particles in vitro. *Environment International.* 162: 107177. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107177

11) Zheng, Tongtong, Yuan, Dong, Liu, Chunguang (2019). Molecular toxicity of nanoplastics involving oxidative stress and DNA damage. *Journal of Molecular Recognition*. 32(11): e2804. https://doi.org/10.1002/jmr.2804

12) Han, Seung-Woo, Choi, Jinhee, Ryu, Kwon-Yul (2021). Stress response of mouse embryonic fibroblasts exposed to polystyrene nanoplastics. *International Journal of Molecular Sciences.* 22(4): 2094. https://doi.org/10.3390/ijms22042094

13) Song, Wensi, Popp, Lauren, Yang, Justin, Kumar, Ayushi, Gangoli, Varun Shenoy, Segatori, Laura (2015). The autophagic response to polystyrene nanoparticles is mediated

by transcription factor EB and depends on surface charge. *Journal of Nanobiotechnology.* 13: 87. https://doi.org/10.1186/s12951-015-0149-6

14) Dal Yöntem, Fulya, Aydoğan Ahbab, Müfide (2024). Mitochondria as a target of micro- and nanoplastic toxicity. *Cambridge Prisms: Plastics.* 2: e6. https://doi.org/10.1017/plc.2024.6

15) Lin, Siyi, Zhang, Hongna, Wang, Chen, Su, Xiu-Li, Song, Yuanyuan, Wu, Pengfei, Yang, Zhu, Wong, Ming-Hung, Cai, Zongwei, Zheng, Chunmiao (2022). Metabolomics reveal nanoplastic-induced mitochondrial damage in human liver and lung cells. *Environmental Science & Technology*. 56(17): 12483–12493. https://doi.org/10.1021/acs.est.2c01688

16) Liu, Huanliang, Wang, Dayong (2021). Intestinal mitochondrial unfolded protein response induced by nanoplastic particles in Caenorhabditis elegans. *Chemosphere*. 267: 128917. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128917

17) Long, Sihong, Wen, Xiaojie, Dai, Manni, Pan, Yufan, Liu, Wanjing, Zhan, Chunhua (2025). Aged nanoplastics reprogram the ER stress-autophagy crosstalk: a mechanistic gateway to skeletal malformations in zebrafish. *Aquatic Toxicology.* 287: 107542. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2025.107542

18) Long, S., Wen, X., Dai, M., Pan, Y., Liu, W., & Zhan, C. (2025). Aged nanoplastics reprogram the ER stress–autophagy crosstalk: a mechanistic gateway to skeletal malformations in zebrafish. *Aquatic Toxicology*, 287, 107542.

19) Wei, Yuzi, Lee Zhi Hui, Victoria, Chen, Yilin, Han, Ruiying, Han, Xianglong, Guo, Yongwen (2023). YAP/TAZ: molecular pathway and disease therapy. *MedComm*. 4(4): e340. https://doi.org/10.1002/mco2.340

20) Cheng, Yixian, Chen, Junjie, Fu, Rui, Zhang, Peng, Chen, Haosong, Cao, Haikun, Jiang, Zilong, Hong, Yuan, Li, Yifan, He, Cuiqi, Tao, Fengjie, Li, Ting, Zhang, Jiawei, Chen, Bo, Cao, Guodong (2025). Molecular mechanism differences between nanoplastics and microplastics in colon toxicity: nanoplastics induce ferroptosis-mediated immunogenic cell death, while microplastics cause cell metabolic reprogramming. *Journal of Nanobiotechnology.* 23: 505. https://doi.org/10.1186/s12951-025-03545-1

21) Sun, Lina, Su, Yanhong, Jiao, Anjun, Wang, Xin, Zhang, Baojun (2023). T cells in health and disease. Signal Transduction and Targeted Therapy. 8(1): 235. https://doi.org/10.1038/s41392-023-01471-y

22) Thapliyal, Charu, Negi, Sonali, Nagarkoti, Sakshi, Daverey, Achlesh (2025). Mechanistic insight into potential toxic effects of microplastics and nanoplastics on human health. *Discover Applied Sciences.* 7: 645. https://doi.org/10.1007/s42452-025-07214-8

23) Wolff, Christina M., Singer, Debora, Schmidt, Anke, Bekeschus, Sander (2023). Immune and inflammatory responses of human macrophages, dendritic cells, and T-cells in the presence of micro- and nanoplastics of different types and sizes. *Journal of Hazardous Materials.* 459: 132194. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132194

24) Liu, Longxiao, Tu, Pengcheng, Niu, Huixia, Li, Xueqing, Gong, Xin, Chen, Zhijian, Xing, Mingluan, Wu, Lizhi, Lou, Xiaoming (2025). Cellular impact of

micro(nano)plastics on human health: a review. *Toxics*. 13(11): 913. https://doi.org/10.3390/toxics13110913

25) Greven, Anne-Catherine, Merk, Teresa, Karagöz, Filiz, Mohr, Kristin, Klapper, Markus, Jovanović, Boris, Palić, Dušan (2016). Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (Pimephales promelas). *Environmental Toxicology and Chemistry*. 35(12): 3093–3100. https://doi.org/10.1002/etc.3501

26) Thapliyal, C., Negi, S., Nagarkoti, S. *et al.* Mechanistic insight into potential toxic effects of microplastics and nanoplastics on human health. *Discov Appl Sci* **7**, 645 (2025). https://doi.org/10.1007/s42452-025-07214-8

27) Kwon, Wookbong, Kim, Daehwan, Kim, Hee-Yeon, Jeong, Sang Won, Lee, Se-Guen, Kim, Hyun-Chul, Lee, Young-Jae, Kwon, Mi Kyung, Hwang, Jun-Seong, Han, Jee Eun, Park, Jin-Kyu, Lee, Sung-Jun, Choi, Seong-Kyoon (2022). Microglial phagocytosis of polystyrene microplastics results in immune alteration and apoptosis in vitro and in vivo. *Science of The Total Environment.* 807(Pt 2): 150817. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150817

28) Bu, Wenxia, Cui, Ye, Jin, Yueyuan, Wang, Xuehai, Jiang, Mengna, Huang, Ruiyao, Egbobe, JohnPaul Otuomasiri, Zhao, Xinyuan, Tang, Juan (2024). Unmasking the invisible threat: biological impacts and mechanisms of polystyrene nanoplastics on cells. *Toxics*. 12(12): 908. https://doi.org/10.3390/toxics12120908

29) Xu, Xin, Feng, Yudong, Han, Chenjie, Yao, Zhengrong, Liu, Yaxin, Luo, Chi, Sheng, Jinghao (2023). Autophagic response of intestinal epithelial cells exposed to polystyrene nanoplastics. *Environmental Toxicology.* 38(1): 205–215. https://doi.org/10.1002/tox.23678

30) Huang, Haipeng, Hou, Jiaqi, Yu, Chengze, Wei, Fangchao, Xi, Beidou (2024). Microplastics exacerbate tissue damage and promote carcinogenesis following liver infection in mice. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 286: 117217. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117217

31) Halimu, Gulinare, Zhang, Qianru, Liu, Li, Zhang, Zhichun, Wang, Xiujuan, Gu, Wu, Zhang, Bowen, Dai, Yumeng, Zhang, Huiwen, Zhang, Chenggang, Xu, Mingkai (2022). Toxic effects of nanoplastics with different sizes and surface charges on epithelial-to-mesenchymal transition in A549 cells and the potential toxicological mechanism. *Journal of Hazardous Materials*. 430: 128485. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128485

32) Koner, Shramana, Florance, Ida, Mukherjee, Amitava, Chandrasekaran, Natarajan (2023). Cellular response of THP-1 macrophages to polystyrene microplastics exposure. *Toxicology*. 483: 153385. https://doi.org/10.1016/j.tox.2022.153385

33) Wu, Qiumei, Liu, Chao, Liu, Dan, Wang, Yougang, Qi, Haomin, Liu, Xudong, Zhang, Yuchao, Chen, Haiyu, Zeng, Yan, Li, Jinquan (2024). Polystyrene nanoplastics-induced lung apoptosis and ferroptosis via ROS-dependent endoplasmic reticulum stress. *Science of The Total Environment*. 912: 169260. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169260

34) Jeon, Mi Seon, Kim, Jun Woo, Han, Yu Bin, Jeong, Mi Ho, Kim, Ha Ryong, Kim, Hyung Sik, Park, Yong Joo, Chung, Kyu Hyuck (2023). Polystyrene microplastic

particles induce autophagic cell death in BEAS-2B human bronchial epithelial cells. *Environmental Toxicology.* 38(2): 359–367. https://doi.org/10.1002/tox.23705

35) Sun, Rongli, Liu, Manman, Xiong, Fei, Xu, Kai, Huang, Jiawei, Liu, Jinyan, Wang, Daqin, Pu, Yuepu (2024). Polystyrene micro- and nanoplastics induce gastric toxicity through ROS mediated oxidative stress and P62/Keap1/Nrf2 pathway. *Science of The Total Environment*. 912: 169228. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169228

36) Lee, Hee-Seop, Amarakoon, Darshika, Wei, Cheng-I, Choi, Kyu Yong, Smolensky, Dmitriy, Lee, Seong-Ho (2021). Adverse effect of polystyrene microplastics (PS-MPs) on tube formation and viability of human umbilical vein endothelial cells. *Food and Chemical Toxicology*. 154: 112356. https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112356

37) González-Caballero, Ma Carmen, de Alba González, Mercedes, Torres-Ruiz, Mónica, Iglesias-Hernández, Patricia, Zapata, Verónica, Terrón, María C., Sachse, Martin, Morales, Mónica, Martín-Folgar, Raquel, Liste, Isabel, Cañas-Portilla, Ana I. (2024). Internalization and toxicity of polystyrene nanoplastics on immortalized human neural stem cells. *Chemosphere*. 355: 141815. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141815

38) Jeong, Ayoung, Park, Soo Jung, Lee, Eun Jeong, Kim, Kyung Won (2024). Nanoplastics exacerbate Parkinson's disease symptoms in C. elegans and human cells. *Journal of Hazardous Materials.* 465: 133289. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133289

39) Wang, Yung-Li, Lee, Yu-Hsuan, Hsu, Yung-Ho, Chiu, I-Jen, Huang, Cathy Chia-Yu, Huang, Chih-Chia, Chia, Zi-Chun, Lee, Chung-Pei, Lin, Yuh-Feng, Chiu, Hui-Wen (2021). The kidney-related effects of polystyrene microplastics on human kidney proximal tubular epithelial cells HK-2 and male C57BL/6 mice. *Environmental Health Perspectives.* 129(5): 57003. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33956507/

40) Lee, Hyo-Sun, Amarakoon, Dilusha, Wei, Chia-I, Choi, Kwang-Youn, Smolensky, Daniel, Lee, Sang-Hyun (2021). Adverse effect of polystyrene microplastics on tube formation and viability of human umbilical vein endothelial cells. *Food and Chemical Toxicology.* 154: https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112356

41) Shen, Fanglin, Li, Dan, Guo, Jianhua, Chen, Jianmin (2022). Mechanistic toxicity assessment of differently sized and charged polystyrene nanoparticles based on human placental cells. *Water Research.* 223: 118960. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118960

42) Dusza, Hanna M., Katrukha, Eugene A., Nijmeijer, Sandra M., Akhmanova, Anna, Vethaak, A. Dick, Walker, Douglas I., Legler, Juliette (2022). Uptake, transport, and toxicity of pristine and weathered micro- and nanoplastics in human placenta cells. *Environmental Health Perspectives.* 130(9): 97006. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36129437/

KAHRAMANMARAŞ, GAZİANTEP VE ADIYAMAN İLLERİNDEKİ ANTEP FISTIĞI BAHÇELERİNDE ZARARLI *Agonoscena pistaciae* Burkhardt & Lauterer, 1989 (Hemiptera: Aphalaridae)'NİN DOĞAL DÜŞMAN FAUNASI: BİYOÇEŞİTLİLİK VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mustafa AÇIKGÖZ[1] ve Mahmut Murat ASLAN[2]

[1]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma, Kahramanmaraş, Türkiye, Orcid: 0000-0001-5339-6537

[2]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma, Kahramanmaraş, Türkiye, Orcid: 0000-0002-4586-1301

Özet

Antep fıstığı, yetiştirildiği bölgelerde üreticilere önemli ekonomik katkı sağlayan çok yıllık bir kültür bitkisidir. Bununla birlikte, üretimde verim ve kaliteyi olumsuz etkileyen birçok zararlı bulunmaktadır. Bu zararlılar arasında *Agonoscena pistaciae* Burkhardt & Lauterer, 1989, özellikle doğrudan bitki özsuyu ile beslenerek ağaçların zayıflamasına, yaprak dökümüne ve bir sonraki yılın meyve gözlerinde (Karagöz) ciddi verim kayıplarına neden olurken, dolaylı olarak da bitki hastalıklarının taşınmasında önemli bir rol oynamaktadır. *A. pistaciae* zararı yalnızca tarımsal üretimle sınırlı değildir, özellikle sonbahar aylarında popülasyonunun hızla artmasıyla birlikte kışlamak amacıyla yerleşim alanlarına yönelen *A. pistaciae*, insan yaşamını doğrudan etkileyen rahatsız edici bir hale gelmiştir. Evlere, iş yerlerine ve açık alanlara yoğun biçimde girerek insanlara huzursuzluk veren bu tür, son yıllarda artan şikayetlerle birlikte giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Bu çalışma, 2022-2024 yılları arasında Kahramanmaraş (Onikişubat, Pazarcık ve Türkoğlu), Gaziantep (Araban, Karkamış ve Yavuzeli) ve Adıyaman (Besni, Gölbaşı ve Tut) illerinde her bir ilçedeki birer bahçede yapılmıştır. Örneklemeler mart-kasım aylarında, on beş günlük periyotlarla yürütülmüştür; her bahçeyi temsil edecek şekilde seçilen 10 ağacın farklı yönlerinden, dört dalına ve ucuna plastik boru geçirilmiş sopa ile üç kez vurularak, böceklerin 50x50x50 cm ölçülerindeki şemsiyeye düşmesi sağlanmıştır. Çalışma sonucunda, *A. pistaciae*'nın doğal düşman faunası içerisinde 5 takıma bağlı 10 familyadan 48 böcek türü belirlenmiştir. Predatör olarak Coleoptera takımından Coccinellidae familyasına ait 25 tür, Diptera takımından Muscidae familyasına ait 1 tür, Hemiptera takımından Anthocoridae familyasına ait 5 tür, Geocoridae familyasına ait 1 tür, Miridae familyasına ait 5 tür ve Nabidae familyasına ait 1 tür, Neuroptera takımından Chrysopidae familyasına ait 4 tür ve Hemerobiidae familyasına ait 4 tür tespit edilmiştir. Parazitoitler arasında ise Hymenoptera takımına ait Aphelinidae ve Encyrtidae familyalarından birer tür belirlenmiştir. Bu türlerin dağılım alanları ve üzerinde yapılan çalışmalardan sonra, bunlardan 3'ünün önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu türler *Oenopia conglobata* (L., 1758), *Hippodamia variegata* (Goeze, 1777) ve *Anthocoris nemoralis* (Fabricius, 1794) olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, doğal düşman çeşitliliğinin bölgedeki zararlı popülasyonların

baskılamasında önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, doğal düşmanların korunması, entegre mücadele stratejilerinin uygulanması ve çevre dostu yaklaşımların benimsenmesi, hem *A. pistaciae*'nın etkin kontrolünü sağlamakta hem de tarımsal ekosistemlerde sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaktadır. Günümüzde, zararlı mücadelesinde yalnızca kimyasal yöntemlere dayalı yaklaşımlar yerine, biyoçeşitliliği koruyan ve ekolojik dengeyi gözeten stratejilerin ön plana çıkarılması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: *Agonoscena pistaciae*, Antep fıstığı, biyoçeşitlilik, doğal düşman

1. Giriş

Antep fıstığı (*Pistacia vera* L.), Sapindales takımı Anacardiaceae (Sakız ağacıgiller) familyasına bağlı *Pistacia* cinsinde yer alan dioik çiçek yapısına sahip bir bitki türüdür. Dünyada en eski kültür bitkilerinden biri olan Antep fıstığı, Anadolu'da ilk kez Hititler (M.Ö. 1650-1190) tarafından kültüre alınmıştır. O dönemlerde kral sofralarına girmiş olması, kültür çeşitlerinin varlığını ve meyve değerinin çok eskiden beri bilindiğini göstermektedir. Antep fıstığının iki ana gen merkezi bulunmaktadır: biri Orta Asya gen merkezi (Hindistan'ın kuzeyi, Afganistan, Tacikistan), diğeri ise Yakın Doğu gen merkezi (Anadolu, Kafkasya, İran ve Türkmenistan). Antep fıstığının ABD'ye geçişi ise ancak 19. yüzyılın ikinci yarısında olmuştur (Ayfer, 1959; Özbek, 1978).

Türkiye'de Antep fıstığı yetiştiriciliği, ya doğada kendiliğinden yetişen ve kültür çeşitlerine anaç olarak kullanılan, menengiç (*Pistacia terebinthus* L.), buttum (*Pistacia khinjuk* Stocks) ve Atlantik sakızı (*Pistacia atlantica* Desf.) çeşitlerinin doğrudan aşılanması ya da bu anaçların tohumlarının ekilerek bunlardan elde edilen çöğürlerin aşılanması suretiyle yapılmaktadır. Bu yabani ağaçlardan melengiç neredeyse Anadolu'nun her yanına yayılmıştır. Hem nemli Akdeniz ikliminde (Antakya, İçel, Antalya) hem de kurak ve az yağışlı kara ikliminde yetişebilir. Antep fıstığı yabani türlerine daha çok Güneydoğu'da rastlanmakla birlikte, Buttum, Doğu ve Güneydoğu Anadolu (Siirt, Bitlis, Hakkâri, Şırnak)'da fazla miktarda bulunur. Atlantik sakızı ise Anadolu'nun özellikle Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde yayılmıştır (Kuru ve Özsabuncuoğlu, 1990). Genellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yetiştiriciliği yapılırken, son yıllarda ekonomik getirisi yüksek olması nedeniyle uygun bölgelerde de yetiştiriciliği yaygınlaşmaya başlamıştır. Sulama suyu sınırlı, yağış miktarı az (300-500 mm) olan ve birçok kültür bitkisi tarafından ekonomik olarak değerlendirilmeyen topraklarda Antep fıstığı yetiştirilmesi, hem ülke hem de çiftçi ekonomisi için büyük kazanç sağlamaktadır (Ayfer, 1990).

Antep fıstığı üretiminde verim ve kaliteyi etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin başında gübreleme, sulama, çiçek ve meyve dökümleri, iklim koşulları, bahçe içindeki farklı erkek ağaçların sayısı, fizyolojik etkenler, zararlılar ve hastalıklarla mücadele gelmektedir. Özellikle zararlılar Antep fıstığı üretiminde verim kaybına neden olan en önemli etmenlerdir. Antep fıstığı alanlarındaki üretimi olumsuz yönde etkileyen zararlı böcek türleri; çiçek, meyve, kök, gövde, dal ve sürgün gibi ağaçların pek çok kısmında değişik zararlara neden olmaktadır. Antep fıstığı bahçelerinde çok sayıda zararlı ve yararlı böcek türü bulunmakta ve zararlı böceklerden bazılarının ekonomik düzeyde zarara neden olduğu bildirilmiştir (Bolu, 2002).

Agonoscena pistaciae Burkhardt & Lauterer, 1989, ülkemizde Antep fıstığında zarar yapan böcek türleri arasında ekonomik öneme sahip önemli zararlılardan biridir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi Antep fıstığı alanlarında yaygın olarak görülen bu zararlı, yumurtalarını nisan ayının ortalarından itibaren bırakmaya başlamaktadır. Zararlının yazlık ve kışlık formları bulunmakta olup, kışlık formlar yazlık formlara göre daha büyük ve koyu renklidir. Erginler nisan ayının ortalarından itibaren sürgün uçlarında oluşan genç yaprakların alt ve üst yüzeylerine az sayıda ve dağınık şekilde yumurta bırakırken, mayıs ayından itibaren yumurtalarını çoğunlukla 15–20'li gruplar hâlinde sıralı ya da dağınık olarak yaprakların alt ve üst yüzeylerine bırakmaktadır (Bolu, 2023). *A. pistaciae* nimf ve erginleri bitki özsuyunu emerek beslenmekte, popülasyon yoğunluğuna bağlı olarak yaprak ve meyvede emgi zararı oluşturmaktadır. Zararlı beş nimf dönemi geçirerek ergin hâle gelmekte ve özellikle nimfler yoğun beslenme sırasında tatlımsı bir madde salgılamaktadır. Popülasyonun yoğun olduğu bahçelerde bu salgılar kuruyarak kristalleşmekte ve ağaçların alt kısımlarında granül halinde şeker serpilmiş bir görünüm oluşmaktadır. Zararlının neden olduğu emgi zararı sonucunda bitkilerde erken yaprak dökülmeleri görülmekte, ayrıca gelecek yıl ürün oluşturacak karagözlerin yeterince beslenememesi nedeniyle dökülmeler meydana gelmekte ve buna bağlı olarak verimde önemli kayıplar oluşmaktadır. *A. pistaciae* yumurtaları önde sivri, arkada daha geniş ve yuvarlak yapıda olup, ilk bırakıldığında açık sarı-beyaz renkteyken açılmaya yakın dönemde turuncu sarı renge dönüşmektedir. Kışlamış erginlerin mart ortalarından itibaren büyük ağaç sürgünlerinde beslendiği, daha sonra küçük fidanlara geçerek burada popülasyonlarını artırdığı ve ilerleyen dönemde yeniden büyük ağaçlara geçtiği belirlenmiştir. Haftalık sayımlar sonucunda, mayıs ayı ortalarından itibaren popülasyon yoğunluğunun artış göstermesi ve ekonomik zarar eşiğinin (20–30 nimf/bileşik yaprak) aşılması durumunda, doğal düşmanların varlığı da dikkate alınarak kimyasal mücadele önerilmektedir. İlk kimyasal mücadele uygulamasında, etki süresi uzun bir insektisitin tercih edilmesiyle zararlı popülasyonunun kısa sürede baskı altına alınması ve aynı zamanda doğal düşmanların korunarak biyolojik dengeye katkı sağlanması amaçlanmalıdır. Bununla birlikte, ekonomik zarar eşiğinin aşılmasının ardından zararlının salgıladığı tatlımsı maddeler nedeniyle uygulanan kimyasal mücadeleden istenilen düzeyde başarı elde edilememektedir.

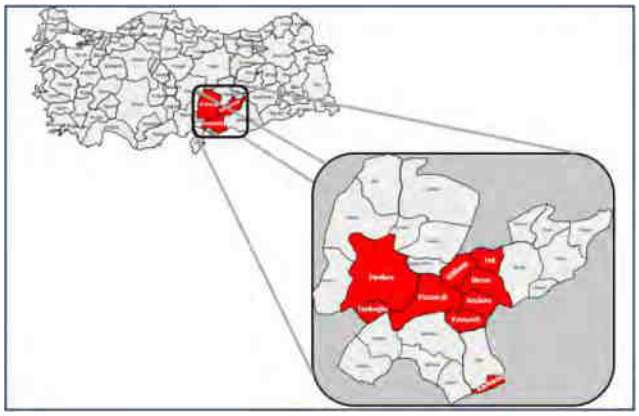
Bu nedenle, *A. pistaciae* ile mücadelede doğal düşmanların belirlenmesi ve korunması sürdürülebilir mücadele açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, 2022–2024 yılları arasında Kahramanmaraş, Gaziantep ve Adıyaman illerinde bulunan Antep fıstığı bahçelerinde *A. pistaciae*'nın doğal düşman çeşitliliğinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma 2022-2024 yılları arasında yürütülmüştür. Kahramanmaraş, Gaziantep ve Adıyaman illerinde bulunan Antep fıstığı bahçelerinde sörveylerde ilçeleri en iyi şekilde temsil edebilecek bahçelerden her il için 3'er bahçe seçilmiştir. Antep fıstığı bahçelerinde *Agonoscena pistaciae*'nın doğal düşmanlarının toplanması ve muhafazası sırasında kullanılan 50x50x50 cm ölçülerindeki şemsiye, Stereo binoküler mikroskop (Nikon marka), ağız aspiratörü, öldürme şişeleri, siyanür, %70'lik etil alkol, böcek iğneleri, fotoğraf makinesi, petri kapları (9x1 cm), kültür kapları, eppendorf tüpler, yumuşak uçlu fırçalar (0, 1, 2 ve 3 numara), farklı ebatlarda plastik kavanozlar, şeffaf torbalar, kültür kapları ve diğer gerekli laboratuvar malzemeleri kullanılmıştır.

2.1.Doğa Çalışmaları

Çalışma alanları Kahramanmaraş (Onikişubat, Pazarcık ve Türkoğlu ilçeleri), Gaziantep (Araban, Karkamış ve Yavuzeli) ve Adıyaman (Besni, Gölbaşı ve Tut) (Şekil 2.1) illerinde yer alan toplam 9 Antep fıstığı bahçesinde yürütülmüştür. Örneklemeler mart ve kasım ayları arasında 15 gün aralıklarla, kış aylarında ise 30 gün aralıklarla yapılmıştır. Seçilen bahçelerin sulanmayan, ilaçlanmamış ve bakımsız olmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışmanın yürütüldüğü il ve ilçeler

2.1.1. Predatörlerin belirlenmesi

2.1.1.1. Darbe yöntemi

Bu yöntem, Antep fıstığı ağaçlarının üzerinde bulunan hareketli zararlı ve yararlı böcek türlerinin tespit edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bahçeyi temsil edecek şekilde seçilen 10 ağacın, farklı yönlerinden 4 dala ucuna plastik boru geçirilmiş bir sopa ile üçer kez vurularak böceklerin 50x50x50 cm ölçülerindeki şemsiyenin içerisine düşmesi sağlanmıştır (Burts and Brunner, 1981). Darbe sonucunda şemsiye içine düşen böcekler emgi tüpü yardımıyla toplanmış ve daha sonra (13x8 cm) öldürme şişelerine aktarılmıştır. Böcekler, öldürme şişelerinde öldükten sonra, kurutma kağıdı bulunan petri kaplarına gerekli etiket bilgileri konulduktan sonra laboratuvara getirilmiştir.

2.1.1.2. Gözle kontrol yöntemi

Bahçe içerisinde metoda uygun olarak seçilen her bir ağacın 4 farklı yönünden fenolojiye göre tomurcuk, çiçek, yaprak, sürgün, gövde ve meyve örnekleri gözle kontrol edilerek, üzerindeki faydalı böcekler aranmıştır. Gözle kontrol yöntemi ile elde edilen ergin öncesi dönemdeki örnekler ise laboratuvara getirilmiş, plastik kültür kutularında kültüre alınmış ve çıkış yapan ergin türler kaydedilmiştir.

2.1.2. Parazitoit türlerin belirlenmesi

Parazitoitlerin tespiti amacıyla bahçelerden *A. pistaciae* ile bulaşık yapraklar 50 adet bileşik yaprak örneği laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvara getirilen örneklerde *A. pistaciae* dışında bulunan diğer türler temizlendikten sonra değişik ebatlarda üzeri tülbent ile kapatılmış plastik kaplar içerisinde kültüre alınmıştır.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Örnekleme yapılan bahçelerden, toplanarak laboratuvara getirilen ergin dönemdeki böcekler iğnelenmiş ve küçük böcekler ise iğnelere geçirilen üçgen veya dörtgen kağıtlara yapıştırılarak karton kutular içerisinde muhafaza edilmiştir. Teşhise hazır hale getirilen böcek örnekleri konu uzmanlarına gönderilmiştir. Darbe ve gözle kontrol yöntemleriyle elde edilen ergin öncesi dönemdeki böcekler ise laboratuvarda plastik kaplarda 25 °C ± 1 sıcaklık ve %65 ± 5 nem ortamında kültüre alınmıştır. Burada elde edilen ergin böcek örnekleri yukarıda açıklandığı şekilde teşhise hazır hale getirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Kahramanmaraş, Gaziantep ve Adıyaman illerinde Antep fıstığı bahçelerinde 2022-2024 yılları arasında bu çalışma ile *A. pistaciae*'nın doğal düşmanları içerisinde 5 takıma bağlı 10 familyadan 48 (47 tür düzeyinde, 1 adet cins düzeyinde) adet faydalı böcek türü belirlenmiştir. Belirlenen bu türler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kahramanmaraş, Gaziantep ve Adıyaman illerinde bulunan Antep fıstığı bahçelerinde 2022-2024 yılları arasında belirlenen faydalı böcek türleri

Avcı ve parazitoit böcekler			**Kahramanmaraş**			**Gaziantep**			**Adıyaman**		
Takım	**Familya**	**Tür**	Onikişubat	Pazarcık	Türkoğlu	Araban	Karkamış	Yavuzeli	Besni	Gölbaşı	Tut
Coleoptera	Coccinellidae	*Adalia bipunctata* L., 1758	+	-	+	-	-	+	-	+	+
		Adalia decempunctata (L., 1785)	+	+	+	+	-	-	+	+	+
		Chilocorus bipustulatus (L., 1785)	+	+	+	-	+	+	+	+	+
		Coccinella septempunctata (L., 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Coccinella undecimpunctata (L., 1758)	-	-	-	-	+	-	-	-	-
		Coccinula quatuordecimpustulata (L., 1758)	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		Exochomus quadripustulatus (L., 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Exochomus nigromaculatus (Goeze, 1777)	-	-	-	-	+	-	-	-	-
		Harmonia axyridis (Pallas,1773)	-	+	+	-	-	-	+	+	-
		Harmonia quadripunctata (Pontoppidan, 1763)	+	-	-	+	-	-	-	-	-
		Hippodamia variegata (Goeze, 1777)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Hyperaspis reppensis (Herbst, 1783)	-	-	-	-	-	-	-	-	+
		Myrrha octodecimguttata (L., 1758)	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		Nephus nigricans Weise, 1879	+	+	+	-	+	+	-	+	+
		Oenopia conglobata (L., 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+

		*Pharoscymnus pharoides (*Marseul,1868)	+	+	+	-	+	+	+	-	+
		Platynaspis luteorubra (Goeze, 1777)	-	+	-	-	-	-	-	-	-
		Scymnus apetzi Mulsant, 1846	-	-	-	-	-	-	-	+	-
		Scymnus araticus Iablokoff-Khnzorian, 1969	+	-	+	+	+	+	+	+	+
		Scymnus auritus Thunberg, 1795	-	+	+	-	-	+	-	+	-
		Scymnus flagellisiphonatus (Fürsch, 1970)	+	+	+	-	+	-	+	-	-
		Scymnus subvillosus (Goeze,1777)	+	-	+	+	-	+	+	-	-
		Scymnus syriacus (Marseul 1868)	+	-	-	+	-	-	-	-	-
		Stethorus gilvifrons (Mulsant,1850)	+	+	+	+	+	+	+	-	-
		Stethorus punctillum (Weise, 1891)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Diptera	Muscidae	*Lispe pectinipes* Becker, 1903	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Hemiptera	Anthocoridae	*Anthocoris gallarumulmi* (De Geer, 1773)	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		Anthocoris nemoralis (Fabricius, 1794)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Anthocoris sibiricus Reuter, 1875	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Orius minutus (L., 1758)	+	-	-	-	-	+	-	-	-
		Orius niger (Wolff, 1811)	-	+	-	+	-	+	+	-	+
	Geocoridae	*Geocoris* (*Piocoris*) *luridus* (Fieber, 1844)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Camponotus saundersi (Puton, 1874)	-	-	+	-	-	-	-	-	-

	Miridae	*Deraeocoris rutilus* (Herrich-Schaeffer, 1838)	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		Deraeocoris serenus (Douglas & Scott, 1868)	-	-	+	-	+	+	+	-	-
		Isometopus intrusus (Herrich-Schaeffer,1835)	+	-	-	-	-	+	-	-	-
		Rhabdomiris striatellus (Fabricius, 1794)	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	Nabidae	*Nabis punctatus* A. Costa, 1847	-	-	-	-	+	-	-	-	+
Hymenoptera	Aphelinidae	*Aphytis* sp.	-	+	-	-	-	-	-	+	-
	Encyrtidae	*Psyllaephagus pistaciae* Ferriere, 1961	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Neuroptera	Chrysopidae	*Chrysopa hungarica* Klapálek, 1899	-	-	-	+	-	-	-	+	-
		Chrysoperla carnea (Stephens, 1836)	+	+	+	+	+	+	+	+	-
		Dichochrysa prasina (Burmeister, 1839)	+	+	+	+	-	+	+	+	+
		Italochrysa italica (Rossi, 1790)	-	-	-	-	-	-	-	+	+
	Hemerobiidae	*Hemerobius* (*Hemerobius*) *gilvus* Stein, 1863	-	-	-	+	-	-	+	-	+
		Hemerobius (*Hemerobius*) *nitidulus* Fabricius, 1777	-	-	-	-	-	+	-	-	-
		Sympherobius (*Sympherobius*) *pygmaeus* (Rambur, 1842)	-	+	-	+	-	-	+	+	+
		Wesmaelius (*Kimminsia*) *subnebulosus* (Stephens, 1836)	+	+	-	-	-	-	+	+	-

Yapılan çalışma sonucunda, Çizelge 1 incelendiğinde *A. pistaciae*'nın doğal düşman faunası olarak 5 takıma bağlı 10 familyadan toplam 48 böcek türü belirlenmiştir. Predatör türler arasında Coleoptera takımına bağlı Coccinellidae familyasından 25 tür; Hemiptera takımına bağlı Anthocoridae familyasından 5 tür, Geocoridae familyasından 1 tür, Miridae familyasından 5 tür ve Nabidae familyasından 1 tür tespit edilmiştir. Ayrıca Neuroptera takımına bağlı Chrysopidae ve Hemerobiidae familyalarından 4'er tür belirlenmiştir. Diptera takımına bağlı Muscidae familyasına ait *Lispe pectinipes* ise bu çalışmada ilk kez *A. pistaciae*'nın predatörü olarak kaydedilmiştir. Parazitoit türler arasında ise Hymenoptera takımına bağlı Aphelinidae ve Encyrtidae familyalarından birer tür saptanmıştır.

İllere göre değerlendirildiğinde, Coccinellidae familyasına ait Kahramanmaraş'ta 21, Gaziantep'te 19 ve Adıyaman'da 18 tür belirlenirken, Hemiptera takımına ait Kahramanmaraş'ta 10, Gaziantep'te 8 ve Adıyaman'da 9 tür tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, daha önce yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Bolu ve ark. (1999), Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Adıyaman, Mardin, Siirt ve Şanlıurfa illerinde yürüttükleri çalışmada, *A. pistaciae*'nın yumurta ve nimf dönemleriyle beslendiği belirlenen Heteroptera takımına ait Anthocoridae familyasından *Anthocoris minki*, *Orius horvathi* ve *Temnostethus reduvinus*; Lygaeidae familyasından *Piocoris luridus*; Miridae familyasından *Campyloma lindbergi* ve *C. diversicornis* ile Nabidae familyasından *Nabis punctatus* ve *N. pseudoferus* olmak üzere toplam 8 predatör tür ile *Psyllaphogus* sp. bir adat nimf parazitoitini belirlemişlerdir. Souliotis ve ark. (2002), Yunanistan'ın Makrakomi bölgesindeki Antep fıstığı alanlarında 8 Coccinellidae türü tespit etmiş; ayrıca *Anthocoris nemoralis*, *Chrysoperla carnea* ve *Psyllaephagus pistaciae* türlerinin zararlı popülasyonunun değişiminde etkili olduğunu bildirmiştir. Bolu (2004) tarafından yürütülen çalışmada ise bölgede Antep fıstığı yetiştirilen alanlarda 22 avcı coccinellid türü belirlenmiş, bunlar arasında *Oenopia conglobata*, *Hyperaspis quadrioculata* ve *Pharoscymnus pharoides* türlerinin önemli olduğu vurgulanmıştır. Özgen ve Karsavuran (2005), Siirt ili Antep fıstığı Agroekosisteminde bulunan Coccinellidae familyasına ait türlerin belirlemesine yönelik yapmış oldukları çalışmada, *Coccinella septempunctata*, *C. undecimpuctata, Cliostethus arcuatus, Hippodamia variegata, Oenopia conglobata, Oenopia oncina* ve *Scymnus subvillosus türlerinin A. pistaciae*'nın farklı biyolojik dönemleriyle beslendiğini, *Scymnus apetzi*, *Scymnus pallipediformis* türlerinin ise *A. pistaciae* ile bulaşık bahçelerde bulunduğunu, *A. pistaciae* ile bulaşık bahçelerde Coccinellidae biyoçeşitliliğinin yoğun olduğunu ifade etmişlerdir. Dilmen ve Özgökçe (2020) ise Siirt ilinde 2017–2018 yıllarında yürüttükleri çalışmada, Coccinellidae familyasına ait 22 tür, Hemiptera takımından Anthocoridae familyasına ait 2 tür, Lygaeidae familyasına ait 1 tür, Miridae familyasına ait 1 tür ve Chrysopidae familyasına ait 1 tür ile *Psyllaphogus* sp. parazitoitini tespit etmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular ve önceki araştırmalar birlikte değerlendirildiğinde, *A. pistaciae*'nın yoğun olarak bulunduğu bahçelerde doğal düşmanları arasında özellikle *Oenopia conglobata* (L., 1758), *Hippodamia variegata* (Goeze, 1777) ve *Anthocoris nemoralis* (Fabricius, 1794) türlerinin öne çıktığı ve zararlının popülasyonunun baskılanmasında önemli rol oynadığı gözlemlenmiştir.

A. pistaciae ile mücadelede kimyasal mücadele yaygın olarak uygulanmakla birlikte, özellikle ilkbahar döneminde yoğun insektisit kullanımından kaçınılması, doğal

düşmanların korunması, biyolojik dengenin sürdürülebilmesi ve entegre mücadele programlarının başarısı açısından büyük önem taşımaktadır. Yarı kurak iklim koşullarının hakim olduğu ve yüksek sıcaklıkların görüldüğü yıllarda *A. pistaciae* popülasyonlarında belirgin artışlar meydana gelmekte, artan sıcaklıkların zararlının biyolojik gelişimini hızlandırması ve düşük nem koşullarının doğal düşman etkinliğini azaltması bu artışın temel nedenleri arasında değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, agroekosistemde biyoçeşitliliğin korunması ve desteklenmesi durumunda doğal düşmanların etkinliği artmakta ve zararlı popülasyonları doğal olarak baskı altına alınabilmektedir. *A. pistaciae* yalnızca doğrudan beslenme zararıyla değil, aynı zamanda son yıllarda Antep fıstığında önemli bir sorun haline gelen fitoplazma hastalığının taşınmasında potansiyel vektörlük rolüyle de dikkat çekmektedir. Ayrıca zararlının popülasyon yoğunluğunun özellikle sonbahar aylarında artmasıyla birlikte kışlamak amacıyla yerleşim alanlarına yönelmesi, ev ve iş yerlerine yoğun şekilde girerek insan yaşamını olumsuz etkileyen önemli bir çevresel sorun oluşturmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, zararlının kontrolünde doğal düşmanların korunmasına dayalı sürdürülebilir mücadele stratejilerinin geliştirilmesi, hem Antep fıstığı üretiminin devamlılığı hem de çevresel dengenin korunması açısından önemli görülmektedir.

Sonuç olarak, Kahramanmaraş, Gaziantep ve Adıyaman illerinde bulunan Antep fıstığı bahçelerinin genel avcı türler bakımından zengin bir doğal düşman faunasına sahip olduğu belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde kabul edilen doktora tez çalışmasının bir bölümünü oluşturmakta olup, BAP projesi No: 2022/2-12 D kapsamında desteklenmiştir. Çalışmada teşhis süreçlerine katkı sağlayan; Coleoptera takımına (Coccinellidae) ait türlerin teşhisini yapan Dr. Öğr. Üyesi Derya ŞENAL (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi/Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi), Hemiptera takımına (Anthocoridae, Geocoridae, Miridae ve Nabidae) ait türlerin teşhisini yapan Doç. Dr. Gülten YAZICI (Zirai Mücadele Merkez Araştırma Enstitüsü, Tarımsal Fauna ve Mikroflora) ve Aphalaridae familyasına ait türün teşhisini yapan Dr. Daniel BURCKHARDT (Basel Doğa Tarihi Müzesi/İsviçre), Diptera takımına (Muscidae) ait türlerin teşhisini yapan Vikhrev NIKITA (Moskova Zooloji Müzesi/Rusya) ve Neuroptera takımına (Chrysopidae ve Hemerobiidae) ait türlerin teşhisini yapan Prof. Dr. Savaş CANBULAT (Kastamonu Üniversitesi/Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi) ve Hymenoptera takımına (Aphelinidae ve Encyrtidae) familyalarını Prof. Dr. Lütfiye GENÇER (Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Fen Fakültesi) teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Ayfer, M. (1959). Antep fıstığının Döllenme Biyolojisi Üzerinde Araştırmalar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 148, Ankara, 103s.

Ayfer, M. (1990). Antep fıstığının Dünü, Bugünü ve Geleceği. Türkiye 1. Antep fıstığı Sempozyumu, 11-12 Eylül 1990, Gaziantep. s. 14–23.

Bolu H., Kornoşor S. ve Altın M. 1999. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Antep Fıstıklarında Zarar Yapan *Agonoscena pistaciae* Burck. and Laut. (Homoptera: Psyllidae)'nın Popülasyon Değişimi Üzerine Avcı Heteroptera Türleri ve Nimf Parazitoidi *Psyllaphagus*

sp. (Hymenoptera: Encyrtidae)'nın Etkinliklerinin Belirlenmesi. Türkiye 4. Biyolojik Mücadele Kongresi Bildirileri, 26-29 Ocak, 7-17.

Bolu, H. (2002). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Antep fıstığı Alanlarındaki Böcek ve Akar Faunasının Saptanması. Türkiye Entomoloji Dergisi. 26 (3): 197-208.

Bolu, H. (2004). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Antepfıstığı Alanlarında Bulunan Avcı Coccinellidae Türler, Yayılış Alanları ve Zararlı *Agonoscena pistaciae*'nın Popülasyon Değişimi Üzerine Etkileri. Bitki Koruma Bülteni. 44 (1-4), 69-77.

Bolu, H. (2023). Life History of Pistachio Psylla, *Agonoscena pistaciae* Burckhardt & Lauterer, 1989 (Hemiptera: Sternorrhyncha: Psyllidae) in the Southeastern Anatolia Region of Turkey. Munis Entomology & Zoology. 18 (1): 107-118.

Burts, E. C., Brunner, J. E., (1981). Dispersion Statistics and a Sequential Sampling Plant for Adult Pear Psylla (*Psylla pyricola*). Journal of Economic Entomology. 74, 291-294.

Dilmen, H., Özgökçe, M. S. (2020). Siirt ili Antep fıstığı (Siirt çeşidi) Bahçelerinde *Agonoscena pistaciae* Burckhardt and Lauterer (Hemiptera: Psyllidae)'nın popülasyon gelişmesi. Plant Protection Bulletin. 60 (3), 47-56. https://doi.org/10.16955/bitkorb.675288

Kuru, C., Özsabuncuoğlu, İ.H. (1990). Yabani *Pistacia* Türlerinin Aşılanmasında Sorunlar ve Çözüm Yolları. Türkiye 1. Antep fıstığı Sempozyumu, 11-12 Eylül 1990, Gaziantep, Türkiye. s. 49-57.

Özbek, S. (1978). Özel Meyvecilik, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 128, Adana, 486s.

Özgen, İ., Karsavuran, Y. (2005). Siirt İli A.fıstığı (*Pistacia vera*) Agroekosisteminde Bulunan Coccinellidae (Coleoptera) Türleri, Yoğunlukları ve Konukçuları Üzerinde Araştırmalar. GAP IV. Tarım Kongresi, 21-23 Eylül, Şanlıurfa, s.1393-1397

Souliotis, C., Markoyiannaki-Printziou, D., Lefkaditis, F. (2002). The Problems and Prospects of Integrated Control of *Agonoscena pistaciae* Burck. and Laut. (Hom.: Sternorrhyncha) in Greece. Journal of Applied Entomology. 126 (7-8), 384-388. DOI:10.1046/j.1439-0418.2002.00678.x

Natural Enemy Fauna of the Pest *Agonoscena pistaciae* Burkhardt & Lauterer, 1989 (Hemiptera: Aphalaridae) in Pistachio Orchards in Kahramanmaraş, Gaziantep and Adıyaman Provinces: Evaluation from the Perspective of Biodiversity and Sustainable Environment

Abstract

Pistachio is a perennial crop that provides significant economic contributions to producers in the regions where it is grown. However, many pests negatively affect yield and quality in production. Among these pests, *Agonoscena pistaciae* (Burkhardt & Lauterer, 1989) stands out as one of the most important species, particularly for its direct sap-sucking behaviour, which weakens trees, causes leaf drop, and results in significant yield losses in the following year's fruit buds (fruiting buds). It also plays a crucial role in the indirect transmission of secondary pathogens. The damage caused by *A. pistaciae* is not limited to agricultural production; its population rapidly increases, especially in autumn, as it moves into residential areas to overwinter, making it a nuisance that directly affects human life. This species, which intensely enters homes, workplaces, and open spaces, causing disturbance, has attracted increasing attention in recent years due to rising complaints. This study was conducted in one garden in each district of the provinces of Kahramanmaraş (Onikişubat, Pazarcık, and Türkoğlu), Gaziantep (Araban, Karkamış, and Yavuzeli), and Adıyaman (Besni, Gölbaşı, and Tut) between 2022 and 2024. Sampling was conducted between March and November at 15-day intervals; 10 trees, selected to represent each garden, were struck three times from different directions with a stick fitted with a plastic tube extending through four branches, causing the insects to fall into a 50x50x50 cm umbrella. As a result of the study, 48 insect species from 10 families belonging to 5 orders were identified within the natural enemy fauna of *A. pistaciae*. As predators, 25 species from the Coccinellidae family of the Coleoptera order, 1 species from the Muscidae family of the Diptera order, 5 species from the Anthocoridae family of the Hemiptera order, 1 species from the Geocoridae family, 5 species from the Miridae family, and 1 species from the Nabidae family were identified; 4 species from the Chrysopidae family of the Neuroptera order and 4 species from the Hemerobiidae family were also identified. Among parasitoids, one species each from the Aphelinidae and Encyrtidae families of the Hymenoptera order was determined. After studies on the distribution areas of these species, it was concluded that 3 of them are important. These species were identified as *Oenopia conglobata* (L., 1758), *Hippodamia variegata* (Goeze, 1777), and *Anthocoris nemoralis* (Fabricius, 1794). The findings show that the diversity of natural enemies has significant potential in suppressing pest populations in the region. Therefore, protecting natural enemies, implementing integrated pest management strategies, and adopting environmentally friendly approaches both ensure effective control of *A. pistaciae* and contribute to sustainability in agricultural ecosystems. Today, instead of relying solely on chemical methods in pest control, strategies that protect biodiversity and respect ecological balance should be prioritised.

Keywords: *Agonoscena pistaciae*, Pistachio, biodiversity, natural enemy

1. Introduction

Pistachio (*Pistacia vera* L.) is a species of plant with dioecious flowers belonging to the genus *Pistacia*, within the family Anacardiaceae (Mastic tree family) of the order Sapindales. One of the oldest cultivated plants in the world, the pistachio was first cultivated in Anatolia by the Hittites (1650-1190 BC). Its presence on royal tables during that period indicates the existence of cultivated varieties and the long-standing knowledge of its fruit's value. Pistachio has two main genetic centres: one in Central Asia (Northern India, Afghanistan, Tajikistan) and the other in the Near East (Anatolia, Caucasus, Iran, and Turkmenistan). The introduction of pistachios into the USA occurred only in the second half of the 19th century (Ayfer, 1959; Özbek, 1978).

Pistachio cultivation in Turkey is carried out either by directly grafting onto wild pistachio varieties such as terebinth (*Pistacia terebinthus* L.), buttum (*Pistacia khinjuk* Stocks), and mastic gum (*Pistacia atlantica* Desf.), which grow naturally in the wild and are used as rootstocks for cultivated varieties, or by grafting the seedlings obtained from the seeds of these rootstocks. Of these wild trees, terebinth is widespread throughout Anatolia. It can grow in both humid Mediterranean climates (Antakya, İçel, Antalya) and dry, low-rainfall continental climates. While wild pistachio species are more commonly found in Southeastern Anatolia, buttum is abundant in Eastern and Southeastern Anatolia (Siirt, Bitlis, Hakkari, Şırnak). Mastic gum, on the other hand, is widespread in Anatolia, especially in the Mediterranean, Aegean, and Marmara regions (Kuru and Özsabuncuoğlu, 1990). While pistachio cultivation is generally concentrated in the Southeastern Anatolia Region, in recent years it has begun to spread to suitable regions due to its high economic returns. Growing pistachios in soils with limited irrigation water, low rainfall (300-500 mm), and where many other crops are not economically viable provides significant benefits for both the country and farmers' economies (Ayfer, 1990).

Many factors affect yield and quality in pistachio production. These factors include fertilisation, irrigation, flower and fruit drop, climatic conditions, the number of different male trees in the orchard, physiological factors, and pest and disease control. Pests, in particular, are the most significant factor causing yield loss in pistachio production. Insect species that negatively affect production in pistachio fields cause various damages to many parts of the trees, such as flowers, fruits, roots, trunks, branches, and shoots. Numerous beneficial and harmful insect species occur in pistachio orchards, and some of the latter have been reported to cause significant economic damage (Bolu, 2002).

Agonoscena pistaciae (Burkhardt & Lauterer, 1989) is among the economically significant insect pests that damage pistachios in Turkey. Widely observed in pistachio orchards in Southeastern Anatolia, this pest begins laying its eggs from mid-April onwards. The pest has summer and winter forms, with winter forms being larger and darker in colour than summer forms. Adults lay eggs in small numbers and scatter them on the upper and lower surfaces of young leaves that develop at the tips of shoots from mid-April, while from May onwards they lay eggs mostly in groups of 15–20, either in rows or scattered, on the upper and lower surfaces of leaves (Bolu, 2023). A. pistaciae nymphs and adults feed by sucking plant sap, causing sap-sucking damage to leaves and fruits, depending on population density. The pest goes through five nymphal stages before becoming an adult, and the nymphs secrete a sweetish substance, especially during

intensive feeding. In orchards with dense populations, these secretions dry and crystallise, creating a sugar-sprinkled appearance on the lower parts of the trees. The sucking damage caused by the pest results in premature leaf drop and the shedding of buds that will produce the following year's crop due to insufficient feeding, leading to significant yield losses. *A. pistaciae* eggs are pointed at the front, wider and rounder at the back, and are light yellow-white when first laid, turning orange-yellow as they approach hatching. It has been determined that overwintered adults feed on large tree shoots from mid-March onwards, then move to small seedlings where they increase their population, and later return to large trees. Based on weekly counts, if population density increases from mid-May onwards and the economic damage threshold (20–30 nymphs/compound leaf) is exceeded, chemical control is recommended, taking into account the presence of natural enemies. In the first chemical control application, a long-acting insecticide should be preferred to quickly suppress the pest population while simultaneously supporting biological balance by protecting natural enemies. However, once the economic damage threshold is exceeded, the desired level of success cannot be achieved with chemical control because the pest secretes sweet substances.

Therefore, identifying and protecting natural enemies in the fight against *A. pistaciae* is crucial for sustainable control. This study was conducted to determine the diversity of natural enemies of *A. pistaciae* in pistachio orchards located in Kahramanmaraş, Gaziantep, and Adıyaman provinces between 2022 and 2024.

2. Materials and Methods

This study was conducted between 2022 and 2024. In pistachio orchards located in the provinces of Kahramanmaraş, Gaziantep, and Adıyaman, three orchards were selected from each province to best represent the districts. The following equipment was used for collecting and preserving the natural enemies of *Agonoscena pistaciae* in pistachio orchards: a 50x50x50 cm umbrella, a stereo binocular microscope (Nikon), a mouth aspirator, killing vials, cyanide, 70% ethyl alcohol, insect needles, a camera, petri dishes (9x1 cm), culture dishes, eppendorf tubes, soft-tipped brushes (sizes 0, 1, 2, and 3), plastic jars of various sizes, transparent bags, culture dishes, and other necessary laboratory materials.

2.1. Field Studies

The study was conducted in a total of 9 pistachio orchards located in the provinces of Kahramanmaraş (Onikişubat, Pazarcık and Türkoğlu districts), Gaziantep (Araban, Karkamış and Yavuzeli) and Adıyaman (Besni, Gölbaşı and Tut) (Figure 2.1). Sampling was carried out at 15-day intervals from March to November and at 30-day intervals during the winter months. Care was taken to select orchards that were not irrigated, not

sprayed with pesticides, and were in poor condition.

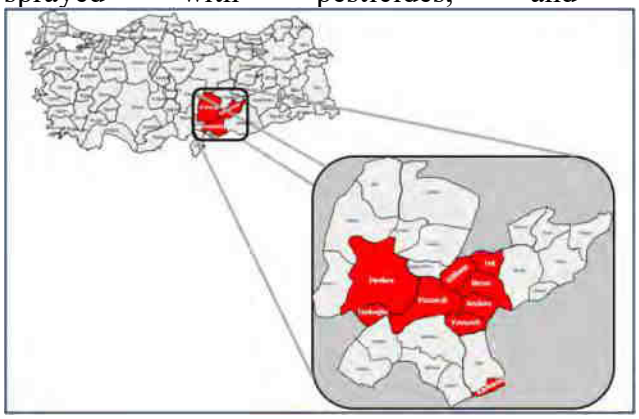


Figure 2.1. Provinces and districts where the study was conducted

2.1.1. Identification of predators

2.1.1.1. Stroke method

This method was used to identify the mobile pest and beneficial insect species found on pistachio trees. Ten trees, selected to represent the orchard, were struck three times on four branches from different directions using a stick with a plastic tube attached to the end. The insects were then drawn into a 50 x 50 x 50 cm umbrella-shaped container (Burts and Brunner, 1981). The insects that fell into the container were collected using a suction tube and then transferred to 13 x 8 cm killing flasks. After the insects died in the killing flasks, they were placed in petri dishes lined with blotting paper, labelled with the necessary information, and brought to the laboratory.

2.1.1.2. Monitoring method

In the orchards, buds, flowers, leaves, shoots, trunks, and fruits from four different angles of each selected tree were visually inspected, and beneficial insects were sought on them. Pre-adult samples obtained by visual inspection were brought to the laboratory, cultured in plastic culture boxes, and the emerging adult species were recorded.

2.1.2. Identification of parasitoid species

For the purpose of identifying parasitoids, 50 compound leaf samples infected with *A. pistaciae* were brought to the laboratory from the orchards. After removing other species from the samples brought to the laboratory, they were cultured in plastic containers of various sizes, each covered with cheesecloth.

2.2. Laboratory studies

Adult insects collected from the sampled gardens were pinned to the laboratory, while smaller insects were attached to triangular or rectangular pieces of paper threaded onto pins and stored in cardboard boxes. The insect samples, prepared for identification, were sent to subject matter experts. Pre-adult insects obtained by impact and visual inspection methods were cultured in plastic containers at 25 °C ± 1 and 65 ± 5% humidity in the laboratory. The adult insect samples obtained here were prepared for identification as described above.

3. Results and Discussion

In this study, conducted between 2022 and 2024 in pistachio orchards in Kahramanmaraş, Gaziantep and Adıyaman provinces, 48 beneficial insect species (47 species-level, 1 genus-level) belonging to 10 families and 5 orders were identified as natural enemies of *A. pistaciae*. These identified species are given in Table 1.

Table 1. Beneficial insect species identified in pistachio orchards in Kahramanmaraş, Gaziantep, and Adıyaman provinces between 2022 and 2024.

Predatory and parasitoid insects			**Kahramanmaraş**			**Gaziantep**			**Adıyaman**		
Order	**Family**	**Species**	Onikişubat	Pazarcık	Türkoğlu	Araban	Karkamış	Yavuzeli	Besni	Gölbaşı	Tut
Coleoptera	Coccinellidae	*Adalia bipunctata* L., 1758	+	-	+	-	-	+	-	+	+
		Adalia decempunctata (L., 1785)	+	+	+	+	-	-	+	+	+
		Chilocorus bipustulatus (L., 1785)	+	+	+	-	+	+	+	+	+
		Coccinella septempunctata (L., 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Coccinella undecimpunctata (L., 1758)	-	-	-	-	+	-	-	-	-
		Coccinula quatuordecimpustulata (L., 1758)	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		Exochomus quadripustulatus (L., 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Exochomus nigromaculatus (Goeze, 1777)	-	-	-	-	+	-	-	-	-
		Harmonia axyridis (Pallas,1773)	-	+	+	-	-	-	+	+	-
		Harmonia quadripunctata (Pontoppidan, 1763)	+	-	-	+	-	-	-	-	-
		Hippodamia variegata (Goeze, 1777)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Hyperaspis reppensis (Herbst, 1783)	-	-	-	-	-	-	-	-	+
		Myrrha octodecimguttata (L., 1758)	-	-	+	-	-	-	-	-	-

		Nephus nigricans Weise, 1879	+	+	+	-	+	+	-	+	+
		Oenopia conglobata (L., 1758)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		*Pharoscymnus pharoides (*Marseul,1868)	+	+	+	-	+	+	+	-	+
		Platynaspis luteorubra (Goeze, 1777)	-	+	-	-	-	-	-	-	-
		Scymnus apetzi Mulsant, 1846	-	-	-	-	-	-	-	+	-
		Scymnus araticus Iablokoff-Khnzorian, 1969	+	-	+	+	+	+	+	+	+
		Scymnus auritus Thunberg, 1795	-	+	+	-	-	+	-	+	-
		Scymnus flagellisiphonatus (Fürsch, 1970)	+	+	+	-	+	-	+	-	-
		Scymnus subvillosus (Goeze,1777)	+	-	+	+	-	+	+	-	-
		Scymnus syriacus (Marseul 1868)	+	-	-	+	-	-	-	-	-
		Stethorus gilvifrons (Mulsant,1850)	+	+	+	+	+	+	+	-	-
		Stethorus punctillum (Weise, 1891)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Diptera	Muscidae	*Lispe pectinipes* Becker, 1903	-	-	-	+	-	-	-	-	-
	Anthocoridae	*Anthocoris gallarumulmi* (De Geer, 1773)	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		Anthocoris nemoralis (Fabricius, 1794)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Anthocoris sibiricus Reuter, 1875	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Orius minutus (L., 1758)	+	-	-	-	-	+	-	-	-
		Orius niger (Wolff, 1811)	-	+	-	+	-	+	+	-	+

Hemiptera	Geocoridae	*Geocoris* (*Piocoris*) *luridus* (Fieber, 1844)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Miridae	*Camponotus saundersi* (Puton, 1874)	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		Deraeocoris rutilus (Herrich-Schaeffer, 1838)	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		Deraeocoris serenus (Douglas & Scott, 1868)	-	-	+	-	+	+	+	-	-
		Isometopus intrusus (Herrich-Schaeffer,1835)	+	-	-	-	-	+	-	-	-
		Rhabdomiris striatellus (Fabricius, 1794)	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	Nabidae	*Nabis punctatus* A. Costa, 1847	-	-	-	-	+	-	-	-	+
Hymenoptera	Aphelinidae	*Aphytis* sp.	-	+	-	-	-	-	-	+	-
	Encyrtidae	*Psyllaephagus pistaciae* Ferriere, 1961	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Neuroptera	Chrysopidae	*Chrysopa hungarica* Klapálek, 1899	-	-	-	+	-	-	-	+	-
		Chrysoperla carnea (Stephens, 1836)	+	+	+	+	+	+	+	+	-
		Dichochrysa prasina (Burmeister, 1839)	+	+	+	+	-	+	+	+	+
		Italochrysa italica (Rossi, 1790)	-	-	-	-	-	-	-	+	+
	Hemerobiidae	*Hemerobius* (*Hemerobius*) *gilvus* Stein, 1863	-	-	-	+	-	-	+	-	+
		Hemerobius (*Hemerobius*) *nitidulus* Fabricius, 1777	-	-	-	-	-	+	-	-	-
		Sympherobius (*Sympherobius*) *pygmaeus* (Rambur, 1842)	-	+	-	+	-	-	+	+	+
		Wesmaelius (*Kimminsia*) *subnebulosus* (Stephens, 1836)	+	+	-	-	-	-	+	+	-

As a result of the study, Table 1 shows that a total of 48 insect species from 10 families belonging to 5 orders were identified as the natural enemy fauna of *A. pistaciae*. Among the predator species, 25 species from the Coccinellidae family (Coleoptera order), 5 species from the Anthocoridae family (Hemiptera order), 1 species from the Geocoridae family, 5 species from the Miridae family, and 1 species from the Nabidae family were identified. In addition, 4 species from each of the Chrysopidae and Hemerobiidae families (Neuroptera order) were identified. *Lispe pectinipes*, belonging to the Muscidae family (Diptera order), was recorded for the first time as a predator of *A. pistaciae* in this study. Among the parasitoid species, one species each from the Aphelinidae and Encyrtidae families (Hymenoptera order) were identified.

When evaluated by province, 21 species of Coccinellidae were determined in Kahramanmaraş, 19 in Gaziantep, and 18 in Adıyaman, while 10 species of Hemiptera were determined in Kahramanmaraş, 8 in Gaziantep, and 9 in Adıyaman. The findings are similar to those of previous studies. Bolu et al. (1999), in their study conducted in Adıyaman, Mardin, Siirt, and Şanlıurfa provinces in the Southeastern Anatolia Region, determined that *Anthocoris minki*, *Orius horvathi*, and *Temnostethus reduvinus* from the Anthocoridae family and *Piocoris luridus* from the Lygaeidae family, belonging to the Heteroptera order, fed on the egg and nymph stages of *A. pistaciae*; Souliotis et al. (2002) identified 8 Coccinellidae species in pistachio orchards in the Makrakomi region of Greece; they also reported that *Anthocoris nemoralis*, *Chrysoperla carnea*, and *Psyllaephagus pistaciae* were effective in changing the pest population. In a study conducted by Bolu (2004), 22 predatory coccinellid species were identified in pistachio orchards in the region, and *Oenopia conglobata*, *Hyperaspis quadrioculata*, and *Pharoscymnus pharoides* were highlighted as particularly important. Özgen and Karsavuran (2005), in their study aimed at identifying the species of the Coccinellidae family found in the pistachio agroecosystem of Siirt province, stated that *Coccinella septempunctata*, *C. undecimpuctata*, *Cliostethus arcuatus*, *Hippodamia variegata*, *Oenopia conglobate*, *Oenopia oncina* and *Scymnus subvillosus* species feed on different biological stages of *A. pistaciae*, while *Scymnus apetzi* and *Scymnus pallipediformis* species are found in orchards infested with *A. pistaciae*, and that Coccinellidae biodiversity is dense in orchards infested with *A. pistaciae*. Dilmen and Özgökçe (2020), in their study conducted in Siirt province in 2017–2018, identified 22 species belonging to the Coccinellidae family, 2 species belonging to the Anthocoridae family from the Hemiptera order, 1 species belonging to the Lygaeidae family, 1 species belonging to the Miridae family, 1 species belonging to the Chrysopidae family, and the parasitoid *Psyllaphogus* sp.

When the findings obtained in this study are evaluated together with previous research, it has been observed that among the natural enemies of *A. pistaciae*, *Oenopia conglobata* (L., 1758), *Hippodamia variegata* (Goeze, 1777), and *Anthocoris nemoralis* (Fabricius, 1794) stand out and play an important role in suppressing the pest population in orchards where *A. pistaciae* is abundant.

While chemical control is widely applied in the fight against *A. pistaciae*, avoiding intensive insecticide use, especially during the spring, is crucial for protecting natural enemies, maintaining biological balance, and ensuring the success of integrated pest management programs. Significant increases in *A. pistaciae* populations occur in years with semi-arid climates and high temperatures. This increase is primarily attributed to the pest's accelerated biological development driven by rising temperatures and the reduced effectiveness of natural enemies due to low humidity. However, the effectiveness of natural enemies increases, and pest populations can be naturally suppressed when biodiversity is protected and supported within the agroecosystem. *A. pistaciae* is noteworthy not only for its direct feeding damage but also for its potential vector role in the transmission of phytoplasma disease, which has

become a significant problem in pistachio cultivation in recent years. Furthermore, the increase in population density, particularly in the autumn months, leads to the pest migrating to residential areas for overwintering, causing significant environmental problems by entering homes and workplaces and negatively impacting human life. Therefore, developing sustainable pest control strategies that protect natural enemies is considered important for both the continuity of pistachio production and the preservation of environmental balance.

In conclusion, it has been determined that pistachio orchards in the provinces of Kahramanmaraş, Gaziantep, and Adıyaman host a rich natural enemy fauna, including generalist predators.

Acknowledgment

This study constitutes a part of a doctoral thesis accepted at the Institute of Science, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, and was supported under BAP project No: 2022/2-12 D. The study focuses on factors contributing to diagnostic processes; The identification of species belonging to the Coleoptera order (Coccinellidae) was carried out by Dr. Derya ŞENAL (Bilecik Şeyh Edebali University/Faculty of Agriculture and Natural Sciences), the identification of species belonging to the Hemiptera order (Anthocoridae, Geocoridae, Miridae and Nabidae) was carried out by Assoc. Dr. Gülten YAZICI (Agricultural Pest Control Research Institute, Agricultural Fauna and Microflora), the identification of a species belonging to the Aphalaridae family was carried out by Dr. Daniel BURCKHARDT (Basel Natural History Museum/Switzerland), the identification of species belonging to the Diptera order (Muscidae) was carried out by Vikhrev NIKITA (Moscow Zoological Museum/Russia), the identification of species belonging to the Neuroptera order (Chrysopidae and Hemerobiidae) was carried out by Prof. Dr. Savaş CANBULAT (Kastamonu University/Faculty of Engineering and Architecture), and the identification of species belonging to the Hymenoptera order (Aphelinidae and Encyrtidae) was carried out by Prof. Dr. We would like to thank Lütfiye GENÇER (Sivas Cumhuriyet University/Faculty of Science).

References

Ayfer, M. (1959). Antep fıstığının Döllenme Biyolojisi Üzerinde Araştırmalar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 148, Ankara, 103s.

Ayfer, M. (1990). Antep fıstığının Dünü, Bugünü ve Geleceği. Türkiye 1. Antep fıstığı Sempozyumu, 11-12 Eylül 1990, Gaziantep. s. 14–23.

Bolu H., Kornoşor S. ve Altın M. 1999. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Antep Fıstıklarında Zarar Yapan *Agonoscena pistaciae* Burck. and Laut. (Homoptera: Psyllidae)'nın Popülasyon Değişimi Üzerine Avcı Heteroptera Türleri ve Nimf Parazitoidi *Psyllaphagus* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae)'nın Etkinliklerinin Belirlenmesi. Türkiye 4. Biyolojik Mücadele Kongresi Bildirileri, 26-29 Ocak, 7-17.

Bolu, H. (2002). Investigations on the fauna of insects and mites in pistachio areas in South Eastern Anatolia Region of Turkey. Türkiye Entomoloji Dergisi. 26 (3): 197-208.

Bolu, H. (2004). Coccinellidae species, their distribution areas and their impact on population fluctuations of *Agonoscena pistaciae* at Pistachio orchards in Southeastern Anatolia Region in Turkey. Bitki Koruma Bülteni. 44 (1-4), 69-77.

Bolu, H. (2023). Life History of Pistachio Psylla, *Agonoscena pistaciae* Burckhardt & Lauterer, 1989 (Hemiptera: Sternorrhyncha: Psyllidae) in the Southeastern Anatolia Region of Turkey. Munis Entomology & Zoology. 18 (1): 107-118.

Burts, E. C., Brunner, J. E., (1981). Dispersion Statistics and a Sequential Sampling Plant for Adult Pear Psylla (*Psylla pyricola*). Journal of Economic Entomology. 74, 291-294.

Dilmen, H., Özgökçe, M. S. (2020). Population development of *Agonoscena pistaciae* Burckhardt and Lauterer (Hemiptera: Psyllidae) in pistachio (Siirt cultivar) orchards in Siirt province. Plant Protection Bulletin. 60 (3), 47-56. https://doi.org/10.16955/bitkorb.675288

Kuru, C., Özsabuncuoğlu, İ.H. (1990). Yabani *Pistacia* Türlerinin Aşılanmasında Sorunlar ve Çözüm Yolları. Türkiye 1. Antep fıstığı Sempozyumu, 11-12 Eylül 1990, Gaziantep, Türkiye. s. 49-57.

Özbek, S. (1978). Özel Meyvecilik, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 128, Adana, 486s.

Özgen, İ., Karsavuran, Y. (2005). Siirt İli A.fıstığı (*Pistacia vera*) Agroekosisteminde Bulunan Coccinellidae (Coleoptera) Türleri, Yoğunlukları ve Konukçuları Üzerinde Araştırmalar. GAP IV. Tarım Kongresi, 21-23 Eylül, Şanlıurfa, s.1393-1397

Souliotis, C., Markoyiannaki-Printziou, D., Lefkaditis, F. (2002). The Problems and Prospects of Integrated Control of *Agonoscena pistaciae* Burck. and Laut. (Hom.: Sternorrhyncha) in Greece. Journal of Applied Entomology. 126 (7-8), 384-388. DOI:10.1046/j.1439-0418.2002.00678.x

ERKEN ÇOCUKLUKTA SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR ÇEVRE İÇİN EKOLOJİK SANAT

A SYSTEMS-BASED REVIEW OF INDUSTRIAL HEMP HARVESTING MECHANIZATION: LOSS MECHANISMS, ENERGY USE AND DESIGN CRITERIA

Evren DENİZ TURAN [1]

[1]**Milli Eğitim Bakanlığı, Okul öncesi eğitim Öğretmeni**

Orcid: 0000-0003-1561-2280

Özet

İnsan eliyle doğada meydana gelen yıkımların giderek artması, çevre sorunlarını ciddi bir boyuta taşımaktadır. Çevre sorunlarına farklı bir perspektiften dikkat çekmeyi amaçlayan ekolojik sanat; atık malzemeler ya da doğadan elde edilen materyaller kullanılarak doğa ve çevrenin varlığına vurgu yapan sanat etkinlikleri olarak tanımlanmaktadır. Çevreyi ve doğayı korumaya yönelik davranışların küçük yaşlarda kazandırılması, verilen eğitimle önem kazanmakta; öğretmenin iyi bir rehber olması ve çevreye-doğaya karşı duyarlılık göstermesi, ekolojik sanat uygulamalarının eğitim ortamında gerçekleştirilebilmesi açısından kritik rol oynamaktadır. Erken yaşlarda edinilen eğitim, çocuğun çevreye karşı duyarlılığının davranışa dönüşmesi için başlangıç niteliği taşır. Erken çocukluk dönemi, davranış oluşumunda kritik bir süreç olduğundan, bu dönemde gerçekleştirilen ekolojik sanat uygulamalarının çevre ve doğa bilinci kazandırmada önemli bir araç olabileceği düşünülmektedir. Bu araştırmanın amacı, erken çocuklukta ekolojik sanat uygulamalarının çevre bilinci kazandırmadaki önemini ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda; erken çocuklukta çevre eğitimi, çevre eğitiminde öğretmenin rolü, çevre, sanat ve yaratıcılık ile ekolojik sanat konularında farklı bilgiler sunan makaleler incelenmiş; literatür taraması yapılmış ve elde edilen veriler betimsel analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda, çocuğun çevreye ve doğaya karşı duyarlılık kazanmasında öğretmenin eğitim uygulamalarının, atık malzemelerle gerçekleştirilen sanat çalışmaları ile doğadan elde edilen materyallerle yapılabilecek ekolojik sanat etkinliklerinin; erken çocuklukta geri dönüşüm bilincinin ve çevre-doğa duyarlılığının kazandırılmasında, aynı zamanda sanat ve yaratıcılığın gelişmesinde önemli bir uygulama olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Erken çocukluk, öğretmen, çevre eğitimi, Sanat ve yaratıcılık, Ekolojik sanat

YEREL GIDA MİRASI VE EKOLOJİK SORUMLULUK
LOCAL FOOD HERITAGE AND ECOLOGICAL RESPONSIBILITY

Aysun GARGACI KINAY

Sinop Üniversitesi, Turizm, Sinop/ Türkiye, Orcid: 0000-0002-1984-2860

Özet

Turizm faaliyetlerinin çevresel etkilerinin artması, sürdürülebilirlik kavramını sadece doğal kaynakların korunmasıyla değil, aynı zamanda kültürel mirasın devamlılığıyla da ilişkilendirmeyi zorunlu kılıyor. Bu bağlamda gastronomi turizmi, çevre dostu bir yaklaşım benimsendiğinde hem kültürel hem de ekolojik sürdürülebilirliğe katkı sağlayabilir. Bu çalışmanın amacı, yerel gıda mirasının korunmasının turizm ekolojisi bağlamında çevresel sorumlulukla nasıl kesiştiğini incelemektir.

Literatür taramasına dayanan bu araştırmada, geleneksel mutfakların ekolojik sürdürülebilirliğe katkıları beş ana tema altında ele alınmıştır. Bu temalar şunlardır: yerel üretim ve tüketime dayalı gıda zinciri, karbon ayak izinin azaltılması, mevsimsel tüketim alışkanlıkları, gıda israfının önlenmesi ve biyo çeşitliliğin korunması. İncelenen çalışmalar, yerel gıda mirasının aynı zamanda kültürel kimlik ve toplumsal aidiyetle güçlü bir bağ kurduğunu gösteriyor. Bu yönüyle sürdürülebilir kalkınma hedeflerine bütünsel bir katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca gastronomik etkinlikler ve gıda festivallerinin çevresel bilinç oluşturma ve toplumsal katılımı artırma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmada sosyokültürel sistemler kuramı, topluluk temelli turizm (CBT) ve deneyimsel öğrenme teorisi çerçevesinde geleneksel mutfakların yerel topluluklarda kültürel dayanıklılık ve ekonomik canlılık sağlama potansiyeli incelenmiştir. Bu nedenle gastronomi turizmi, yalnızca ekonomik fayda değil, toplumsal öğrenme ve kimlik inşası açısından da önemli bir araç olarak değerlendirilir.

Sonuç olarak, yerel gıda mirasının korunması sadece bir kültürel koruma eylemi değil, çevresel sorumluluğun ve sürdürülebilir turizmin temel bir parçasıdır. Politika yapıcıların, yerel üreticilerin ve turizm sektörü aktörlerinin iş birliği içinde çalışması bu mirası geleceğe taşımak için kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda geleneksel mutfakların ekoturizm ilkeleriyle uyumlu bir şekilde yeniden konumlandırılması önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Turizm ekolojisi, yerel mutfaklar, çevresel sorumluluk

Abstract

The increasing environmental impact of tourism activities necessitates linking the concept of sustainability not only to the conservation of natural resources but also to the continuity of cultural heritage. In this context, gastronomic tourism can contribute to both cultural and ecological sustainability when an environmentally friendly approach is adopted. The aim of this study is to examine how the preservation of local food heritage intersects with environmental responsibility in the context of tourism ecology.

Based on a literature review, this research addresses the contributions of traditional cuisines to ecological sustainability under five main themes. These themes are: food chains based on local production and consumption, reduction of carbon footprint, seasonal consumption habits, prevention of food waste, and preservation of biodiversity. The studies examined show that local food heritage also has a strong connection with cultural identity and social belonging. In this respect, it has been determined that it makes a holistic contribution to sustainable development goals. Furthermore, it has been noted that gastronomic events and food festivals have the potential to raise environmental awareness and increase social participation.

This study examines the potential of traditional cuisines to foster cultural resilience and economic vitality within local communities, within the framework of sociocultural systems theory, community-based tourism (CBT), and experiential learning theory. Therefore, gastronomic tourism is considered not only an economic benefit but also an important tool for social learning and identity building.

Consequently, preserving local food heritage is not merely an act of cultural preservation but a fundamental part of environmental responsibility and sustainable tourism. Collaboration among policymakers, local producers, and tourism sector actors is critical to carrying this heritage into the future. In this regard, it is recommended that traditional cuisines be repositioned in alignment with ecotourism principles.

Keywords: Tourism ecology, local cuisines, environmental responsibility

DETERMINATION OF ENDOPHYTIC FUNGAL DIVERSITY IN DIFFERENT ORGANS OF APPLE (*MALUS DOMESTICA*) CULTIVATED IN EĞİRDİR (ISPARTA)

Cafer EKEN[1], Dudu DEMİR[2], Tuba GENÇ KESİMCİ[3], Mesude Figen DÖNMEZ YEŞİLDAĞ[4], Emre SEVİNDİK[5], Yusuf DÜŞGÜN[6], Metin SAFTAN[7]

[1]Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Türkiye, Orcid: 0000-0002-0454-8124

[2]Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Türkiye, Orcid: 0000-0001-7710-384X

[3]Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Iğdır University, Iğdır, Türkiye, Orcid: 0000-0003-2022-0193

[4]Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Iğdır University, Iğdır, Türkiye, Orcid: 0000-0002-7992-8252

[5]Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Aydın Adnan Menderes University, Aydın, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2423-5176

[6]Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Türkiye, Orcid: 0009-0000-7156-9921

[7]Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Iğdır University, Iğdır, Türkiye, Orcid: 0000-0002-9951-5404

Abstract

Apple (*Malus domestica* L.) is an economically important fruit species capable of adapting to diverse ecological conditions and widely cultivated across the world. Türkiye ranks third among the leading apple-producing countries in terms of total production. According to 2024 data, national apple production reached 4,420,185 tons. Isparta province, which accounts for approximately 23% of the country's production and ranks first nationwide, produced 1,019,904 tons of this total. Within Isparta, the Eğirdir district plays a major role, contributing 314,199 tons, more than 30% of the provincial output, and thus holding a significant position in regional apple production. Endophytic fungi are microorganisms that inhabit plant tissues throughout their life cycle without causing visible symptoms of disease. They establish symbiotic associations with nearly all plant species. In addition to promoting host plant growth and development, endophytic fungi can confer protection against various pathogens and pests. Furthermore, they are capable of producing a wide range of secondary metabolites that stimulate host defense responses and activate latent resistance mechanisms. The present study aimed to isolate endophytic fungi from different organs of the apple plant and to determine their colonization frequencies. Flower and leaf samples were collected during the spring season, whereas shoot and leaf samples were obtained in the autumn from apple trees in Eğirdir, Isparta. Following surface sterilization, plant segments were placed on potato dextrose agar medium, and emerging fungal colonies were purified to obtain endophytic isolates. Endophyte colonization frequency was calculated as the ratio of the number of plant segments colonized by each endophyte to the total number of segments subjected to isolation. In the spring season, colonization frequencies were 68.75% in flowers and 32% in leaves. In the autumn season, colonization frequencies were 91.1% in shoots and 92.73% in leaves. Based on morphological identification, the isolated endophytic fungi were assigned to the

genera *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Botrytis*, *Cladosporium*, *Epicoccum*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Phoma*, *Trichoderma*, *Trichohecium*, and *Ulocladium*.

This study was supported by TUBİTAK-TOVAG with project number 223O155.

Keywords: Apple, flower, leaf, shoot, endophytic fungi

DETERMINATION OF PROTEASE ENZYME ACTIVITIES OF NEMATODE-TRAPPING FUNGI IMPORTANT FOR BIOLOGICAL CONTROL IN SUSTAINABLE AGRICULTURE

Dudu DEMİR[1], Selda KABAK[2], Cafer EKEN[3], Gülsüm UYSAL[4], Selda ÇALIŞKAN[5], Emre SEVİNDİK[6]

[1]Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Türkiye, Orcid: 0000-0001-7710-384X

[2]Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Türkiye, Orcid: 0009-0000-2984-0992

[3]Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Türkiye, Orcid: 0000-0002-0454-8124

[4]Department of Plant Health, Batı Akdeniz Agricultural Research Institute, Antalya, Türkiye, Orcid: 0000-0003-1722-2518

[5]Department of Plant Health, Batı Akdeniz Agricultural Research Institute, Antalya, Türkiye, Orcid: 0000-0003-1722-2518

[6]Department of Agricultural Biotechnology, Faculty of Agriculture, Aydın Adnan Menderes University, Aydın, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2423-5176

Abstract

Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) are among the most important pest groups worldwide, causing economically significant yield losses in cultivated crops and possessing a very broad host range. In addition to the negative impacts of chemical control against nematodes on the environment, wildlife, water resources, and human health, as well as the difficulty and high cost of its application, these factors have made it inevitable to explore biological control options for managing these species. In many countries, numerous biopesticides have been developed for the control of pests and disease agents, and these preparations are effectively applied in agricultural production. Among biopreparations, fungi constitute an important group. Nematode-trapping fungi, which are among the fungi used in the biological control of nematodes, have been identified as potential biological control agents against root-knot nematodes, and today formulations of some species are available. Nematodes are surrounded by physical barriers with high protein content that protect them from natural predators. Nematode-trapping fungi penetrate the nematode cuticle and eggshell through both enzymatic (e.g., proteases and chitinases) and mechanical means in order to overcome these barriers. Proteases are enzymes that catalyze the hydrolytic cleavage of peptide bonds in protein structures; by hydrolyzing the peptide bonds present in cuticular proteins, they facilitate the fungus's entry into the host, its progression within host tissues, and the acquisition of nutrients. In this study, the protease enzyme activities of isolates belonging to nematode-trapping fungal species, isolated from soil samples collected from greenhouse tomato-growing areas in the West Mediterranean Region (Antalya, Burdur, and Isparta), were determined using the azocasein substrate. The study evaluated isolates of *Arthrobotrys conoides* (A-A18-11, B-Ç8-3, and B-G1-2), *A. thaumasia* (I-At1-2, I-Y4-21, and B-G8-1), *Drechlerella brochopaga* (A-D7-2, A-D7-3, and A-D7-11), *A. oligospora* (B-M4-1), and *D. dactyloides* (B-Ce1-2). According to the results obtained, all nematode-trapping fungal

isolates possessed proteolytic activity, and enzyme activities ranged between 0.501 EU and 41.681 EU. Statistically significant differences in proteolytic activity were detected both among species and among isolates of the same species ($P<0.05$). Among the isolates examined, the B-G8-1 isolate of *A. thaumasia* exhibited the highest proteolytic activity.

This study was supported by TUBİTAK-TOVAG with project number 221O399.

Keywords: Nematode-trapping fungi, protease, azocasein.

SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIM VE TARIMDA ENERJİ KULLANIMI

Osman GÖKDOĞAN

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği, Isparta, Türkiye, Orcid: 0000-0002-4933-7144

Özet

Bu çalışmada sürdürülebilir tarım için tarımda enerji kullanımının önemi üzerinde durulmuştur. Artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacının sağlanmasının yanı sıra tarım alanlarının azalması ile birlikte birim alandan daha fazla ürün alınması gereklidir. Birim alandan daha fazla ürün alınması ise tarımsal üretimde daha fazla enerji kullanımı ile sağlanması zorunluluğunu göstermektedir. Tarım ve enerji birbiriyle bağlantılı olup tarımsal üretimde minimum girdi ile maksimum çıktının elde edilmesi her zaman istenilen bir durumdur. Çalışmada tarımda sürdürülebilirliğe katkı sağlayacak olan tarımda enerji kullanımında yenilenebilir enerjilerin kullanımı ve artırılması ele alınmıştır. Konu ile ilgili olarak tarımsal üretimde enerji kullanımı ve sürdürülebilirlik üzerine yapılan çalışmalar ele alınmış ve değerlendirilmiştir. Konu ile ilgili yapılan çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda tarımda enerji kullanım etkinliğinin ve enerji kullanım etkinliği, enerji verimliliği, spesifik enerji ve net enerji gösterge değerlerinin artırılması için yenilenemez enerji girdilerinin kullanımının azaltılması, yenilenebilir enerji girdilerinin kullanımının artırılması ve enerji kullanım planlamasının yapılması gereklidir. Sürdürülebilir tarım için tarımda yenilenebilir enerji kullanımının artırılması için kimyasal girdilerin azaltılıp organik kimyasal gübre ve çiftlik gübresi girdilerinin kullanımının artırılması, kimyasal ilaç girdilerinin azaltılıp organik ilaç girdilerinin kullanımının artırılması, tarımsal işlemlerde kullanılan yakıt enerjisi girdilerinin azaltılıp güneş enerjisi girdilerinin kullanımının artırılması önem arz etmektedir. Tarımda yenilenemez enerji girdilerinin kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji girdilerinin kullanımının artırılması ile birlikte tarımsal üretimden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının da azalması sağlanabilir.

Anahtar kelimeler: Tarımda enerji kullanımı, enerji kullanım etkinliği, spesifik enerji

Not: Bu çalışma 1919B022602809 Başvuru Numaralı TÜBİTAK 2224-B Yurt İçi Bilimsel Etkinliklere Katılım Desteği Programı 2026/1 Tarafından Desteklenmiştir.

SUSTAINABLE AGRICULTURE AND ENERGY USE IN AGRICULTURE

Abstract

This study focuses on the importance of energy use in agriculture for sustainable agriculture. With the increasing global population, the need for food is rising, and agricultural land is decreasing, making it necessary to obtain more yield per unit area. This increased yield necessitates increased energy use in agricultural production. Agriculture and energy are interconnected, and achieving maximum output with minimum input in agricultural production is always desirable. This study examines the use and increase of renewable energies in agricultural energy production to contribute to sustainability. Studies on energy use and sustainability in agricultural production have been reviewed and evaluated. The evaluation of these studies reveals that reducing the use of non-renewable energy inputs, increasing the use of renewable energy inputs, and implementing energy use planning are necessary to improve energy efficiency, specific energy, and net energy indicators in agriculture. To ensure sustainability in agriculture, it is crucial to increase the use of renewable energy, reduce chemical inputs and increase the use of organic fertilizers and farmyard manure, reduce chemical pesticides and increase organic pesticides, and reduce fuel energy inputs used in agricultural operations and increase the use of solar energy. Reducing the use of non-renewable energy inputs and increasing the use of renewable energy inputs in agriculture can also lead to a reduction in greenhouse gas emissions from agricultural production.

Keywords: Energy use in agriculture, energy use efficiency, specific energy

ENDÜSTRİYEL KENEVİRDE HASAT MEKANİZASYONUNUN SİSTEM TEMELLİ DERLEMESİ: KAYIP MEKANİZMALARI, ENERJİ KULLANIMI VE TASARIM KRİTERLERİ

Mehmet Emin GÖKDUMAN[1], Deniz YILMAZ[2]

[1]Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Tarım Makineleri ve Hasat Mekanizasyonu, Isparta, Türkiye

Orcid: 0000-0003-0002-8612

[2]Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Tarım Makineleri ve Hasat Mekanizasyonu, Isparta, Türkiye

Orcid: 0000-0003-3326-8890

Özet

Endüstriyel kenevir (*Cannabis sativa* L.) üretim zincirinde hasat aşaması, lif kalitesi, sap bütünlüğü, ürün kayıpları ve operasyonel maliyetler üzerinde doğrudan etkilidir. Lif amaçlı yetiştirilen kenevirde sap uzunluğu, lif-odunsu kısım oranı ve nem içeriği hasat performansını belirleyen temel bitkisel parametrelerdir. Literatürde bütün sap hasadı, kısa kesim sistemleri (HempCut tipi), çok seviyeli bıçaklı kesme sistemleri ve kombine tabanlı çift amaçlı hasat çözümleri tanımlanmıştır. Bu sistemler kesme prensibi, sapın hasat sırasında kısaltılma şekli, güç iletim mekanizması ve ürün akışı bakımından farklı teknik özellikler göstermektedir.

Hasat kayıpları genellikle kesme, harman, temizleme ve taşıma kaynaklı bileşenler altında incelenmektedir. Çalışmalarda ilerleme hızındaki artışın toplam kayıp oranını yükselttiği; nem aralığındaki değişimlerin ise mekanik zorlanma ve kayıp miktarını etkilediği bildirilmektedir. Çok seviyeli bıçaklı sistemlerde birim iş genişliği başına yaklaşık 2.5 kW m^{-1} güç gereksinimi rapor edilmiştir. Sapın hasat sırasında kısaltılması, sonraki çevirme, kurutma ve balyalama işlemlerini kolaylaştırmakta; ancak lif bütünlüğü ile enerji tüketimi arasında teknik bir denge gerektirmektedir.

Literatür bulguları, yüksek ilerleme hızlarının ve uygunsuz nem koşullarının hasat kayıplarını artırdığını; sapın kontrollü şekilde kısaltılmasının ise operasyonel verimliliği yükselttiğini ancak enerji talebini artırdığını göstermektedir. Ayrıca, hasat sisteminin seçimi lif kalitesi, enerji gereksinimi ve sonraki işleme aşamaları ile birlikte değerlendirilmelidir. Bu çalışma, endüstriyel kenevir hasat sistemlerini kesme prensipleri, kayıp mekanizmaları ve enerji gereksinimleri açısından yarı sistematik bir yaklaşımla değerlendirmekte ve hasat performansının makine tipi, çalışma parametreleri ve bitki özellikleri arasındaki etkileşimle belirlendiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, Türkiye'de gelişmekte olan kenevir üretim sistemlerinde teknik temelli mekanizasyon stratejilerinin belirlenmesi açısından yol gösterici niteliktedir. Ayrıca, hasat kayıplarının azaltılması ve enerji gereksiniminin optimize edilmesi, kenevir üretiminde kaynak kullanım etkinliğini artırarak sürdürülebilir tarımsal üretim hedeflerine katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Endüstriyel kenevir, hasat mekanizasyonu, hasat kayıpları, enerji gereksinimi, sistem analizi

Abstract

In industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) production, the harvesting stage directly affects fiber quality, stem integrity, product losses, and operational costs. In fiber-oriented systems, stem length, fiber-to-woody core ratio, and moisture content are key crop parameters that influence harvesting performance. Reported harvesting systems include whole-stem harvesting and short-cut systems, such as the HempCut type. Other systems include multi-level cutter-bar configurations and combine-based dual-purpose solutions. These systems differ in their cutting principles, stem reduction methods, power transmission mechanisms, and material flow characteristics.

Harvest losses are typically categorized as cutting-, threshing-, cleaning-, or transport-related. Previous studies indicate that higher forward speeds result in greater total loss rates, and variations in crop moisture influence both mechanical stress and loss magnitude. Multi-level cutter-bar systems reportedly require approximately 2.5 kW per meter of working width. Additional stem shortening during harvesting facilitates subsequent turning, drying, and baling operations. However, it creates a balance between fiber integrity and energy consumption.

The reviewed studies demonstrate that excessive forward speeds and unsuitable moisture conditions lead to increased harvest losses. In contrast, controlled stem shortening improves operational efficiency, albeit at the expense of higher energy demand. Additionally, when selecting harvesting systems, one must consider fiber quality requirements, energy inputs, and downstream processing constraints. Using a semi-systematic literature-based approach, this study evaluates industrial hemp harvesting mechanization and highlights that harvesting performance is determined by the interaction among machine type, operational parameters, and crop characteristics. These findings provide a technical basis for developing mechanization strategies for hemp production in Turkey. Reducing harvest losses and optimizing energy demand improves resource use efficiency and supports sustainable production objectives in hemp cultivation.

Keywords: Industrial hemp, harvesting mechanization, harvest losses, energy requirement, systems analysis

Centaurea (Asteraceae) CİNSİ *Cheirolepis* SEKSİYONUN MEYVE ANATOMİSİ

Burcu YILMAZ ÇITAK

Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyoloji, Konya, Türkiye, Orcid: 0000-0003-3703-7731

Özet

Bu çalışmada, *Centaurea* cinsinin *Cheirolepis* seksiyonuna ait olgun akenler incelenmiştir. İncelenen türün anatomik kesitlerini elde etmek için parafin yöntemi kullanılmıştır. Akenlerin orta kısmından enine kesitler alınmış, safranin-hızlı yeşil ile boyanmış ve kalıcı preparatlar hazırlamak için entellan içine yerleştirilmiştir. Tüm preparatlar Leica DM 1000 ışık mikroskobu ile incelenmiştir. Ölçümler Kameram 21 programı ile yapılmış ve fotoğraflar ışık mikroskobuna takılı Canon EOS 450D kamera ile çekilmiştir. Akenler perikarp, testa, endosperm ve kotiledonlardan oluşmaktadır. Çoğu kesitte kotiledonlar ve endosperm dökülmüştür. Bununla birlikte, aken duvarı detaylı olarak incelenmiştir. Olgun perikarp, ekzokarp ve mezokarp olmak üzere iki bölgeye ayrılır ve yapısında farklılıklar gösterir. Ekzokarp nispeten kalınlaşmış ve düz epidermal hücrelerden oluşurken, sklerenkimatöz lif hücreleri tüm taksonlarda mezokarpın tamamını kaplar. Salgı kanalları, bazı türlerde demet izlerinin yakınında açıkça görülebilir. Bulgular, meyve anatomisinin tek başına kesin tür tanımlaması için yeterli olmayabileceğini, ancak bazı yakın akraba taksonları ayırt etmek için değerli bir destek sağladığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Aken, Compositae, lignifiye olmuş palizat, Peygamber çiçeği.

FRUİT ANATOMY OF *Cheirolepis* Section of THE GENUS *Centaurea* (Asteraceae)

Abstract

In current study, mature achenes of section Cheirolepis of Centaurea were studied. Paraffin method was performed to obtain anatomical sections of studied species. Cross-sections were taken from the middle part of the achene bodies, stained with safranin-fast green, and mounted in entellan to pepare permanent slides. All the slides were observed by Leica DM 1000 light microscope. Measurements were made with Kameram 21 programme and photos were taken with a Canon EOS 450D camera attached to the light microscope. The achenes are made up from pericarp, testa, endosperm and cotyledons. In most sections, the cotyledons and endosperm had shed. Although, the achene wall has been examined in detail. The mature pericarp is differentiated into two zones, i.e. exocarp and mesocarp, and exhibits variation in the structure. The exocarp is composed of relatively thickened and flat epidermal cells, and sclerenchymatous fiber cells cover the entire mesocarp in all taxa. Secretory ducts are clearly visible in some species near the bundle traces. The findings indicate that while fruit anatomy alone may not be sufficient for precise species identification, it provides valuable support for distinguishing certain closely related taxa.

Keywords: Achene, Compositae, Knapweed, lignified palisade.

LAVANDULA ANGUSTIFOLIA İLE ANA METABOLİTİ LİNALOOL'ÜN *TENEBRIO MOLITOR* (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)'DA MORTALİTE VE LARVAL DÖNEM GELİŞİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Evrim SÖNMEZ

Sinop Üniversitesi, Eğitim Fakültesi/Matematik Ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü/Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı, Sinop, Türkiye, Orcid: 0000-0002-5412-5728

Özet

Sentetik pestisitlerin çevre ve memeli sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri ile zararlılarda direnç gelişimine yol açmaları, bu bileşiklerin kullanımını giderek daha fazla sınırlandırmaktadır. Bu doğrultuda Entegre Zararlı Yönetimi (IPM), bitkisel kökenli biyoinsektisitlerin ve çevre dostu yenilikçi mücadele yöntemlerinin kullanımını teşvik etmektedir. Bitkilerden elde edilen uçucu yağlar ve bunların biyoaktif metabolitleri düşük toksisiteleri, biyolojik olarak parçalanabilir yapıları, çevreyle uyumlu özellikleri ve birden fazla etki mekanizmasına sahip olmaları nedeniyle sentetik pestisitlere alternatif olarak dikkat çekmektedir. Monoterpen, seskiterpen ve fenolik bileşiklerden oluşan bu kompleks karışımlar, böceklerde nörotoksik ve repellent etkiler oluşturabilitr. Aynı zamanda kur davranışlarını değiştirme, beslenmeyi engelleme, yumurta bırakmayı ve çiftleşmeyi azaltma ya da ovisidal etki gösterme gibi farklı biyolojik sonuçlara yol açabilmektedir. Özellikle Lamiaceae ve Myrtaceae familyalarına ait bitkilerden elde edilen uçucu yağların, çeşitli zararlı türler üzerinde güçlü insektisidal aktivite gösterdiği bildirilmekte ve bu nedenle IPM programları açısından önemli bir potansiyel taşıdığı kabul edilmektedir. Ancak kısa raf ömürleri, tarla koşullarında etkinlik kaybı, yüksek üretim maliyetleri, çevresel koşullara duyarlılık ve standart kalitede bitkisel hammadde teminindeki güçlükler, bu yağların ticari biyoinsektisit olarak kullanımını sınırlamaktadır. Bu nedenle, uçucu yağların içerdiği aktif metabolitlerin zararlı böcekler üzerindeki etkilerinin ayrıntılı biçimde ortaya konması, en etkili bileşenlerin belirlenmesi ve biyopestisit potansiyellerinin değerlendirilmesi hem bilimsel hem de uygulamalı açıdan önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, *Lavandula angustifolia* uçucu yağı ile ana metaboliti linalool'ün *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) ergin ve larvaları üzerindeki insektisidal etkileri ve larvalar üzerindeki uzun dönemli sonuçları araştırılmıştır. Uçucu yağ ve linalool ergin ve larvalara inhalasyon, temas ve inhalasyon/temas olmak üzere üç farklı uygulama yöntemiyle uygulanmış, tüm uygulamalarda mortalitenin doz ve zamana bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, bütün uygulamalarda larval evreden pupa evresine geçiş oranı belirgin biçimde azalmış, özellikle bazı linalool uygulamalarında pupa evresine ulaşan bireylerin gelişimlerini tamamlayamadığı ve öldüğü saptanmıştır. Bu sonuçlar, lavanta uçucu yağı ve linalool'ün yalnızca akut toksisite oluşturmadığını, aynı zamanda gelişimsel süreçleri bozarak larva ve pupaların normal gelişimini engellediğini göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular lavanta uçucu yağı ve özellikle linalool'ün *T. molitor* popülasyonlarının kontrolünde kullanılabilecek güçlü biyoinsektisit adayları olduğunu ve çevre dostu biyopestisitlerin geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel taşıdığını ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Biopestisit, bioinsektisit, bitkisel uçucu yağ, mortalite, un kurdu,

EFFECTS OF *LAVANDULA ANGUSTIFOLIA* AND ITS MAIN METABOLITE LINALOOL ON MORTALITY AND LARVAL DEVELOPMENT IN *TENEBRIO MOLITOR* (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)

Abstract

The adverse effects of synthetic pesticides on the environment and mammalian health, together with their role in promoting resistance development in pest populations, have increasingly restricted their use. In this context, Integrated Pest Management (IPM) encourages the use of plant-based bioinsecticides and other innovative environmentally friendly control strategies. Essential oils derived from plants, as well as their bioactive metabolites, have attracted considerable attention as alternatives to synthetic pesticides because of their relatively low toxicity, biodegradable nature, environmental compatibility, and multiple modes of action. These complex mixtures, composed of monoterpenes, sesquiterpenes, and phenolic compounds, can produce neurotoxic and repellent effects in insects. At the same time, they may lead to various biological outcomes, such as altering courtship behaviors, inhibiting feeding, reducing oviposition and mating, or exerting ovicidal effects. In particular, essential oils obtained from plants belonging to the families Lamiaceae and Myrtaceae have been reported to exhibit strong insecticidal activity against a range of pest species and are therefore regarded as promising candidates for IPM programmes. However, their short shelf life, reduced efficacy under field conditions, high production costs, sensitivity to environmental factors, and the difficulty of obtaining plant raw materials of consistent quality limit their practical use as commercial bioinsecticides. For this reason, a more detailed investigation of the effects of the active metabolites present in essential oils on insect pests, together with the identification of the most effective components and evaluation of their biopesticide potential, is important from both scientific and applied perspectives.

In this study, the insecticidal effects of *Lavandula angustifolia* essential oil and its main metabolite linalool on adults and larvae of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), as well as their long-term effects on larvae, were investigated. The essential oil and linalool were applied to adults and larvae using three different application methods, namely inhalation, contact, and combined inhalation/contact exposure, and mortality was found to increase in a dose- and time-dependent response in all applications. In addition, the transition rate from the larval stage to the pupal stage was markedly reduced in all treatments, and particularly in some linalool applications, individuals that reached the pupal stage were unable to complete their development and died. These results show that lavender essential oil and linalool not only induce acute toxicity, but also disrupt developmental processes and prevent the normal development of larvae and pupae. Overall, the findings indicate that lavender essential oil, and especially linalool, are strong bioinsecticide candidates for the control of *T. molitor* populations and have significant potential for the development of environmentally friendly biopesticides.

Keywords: Biopesticide, bioinsecticide, plant essential oil, mortality, mealworm

DEPOLANMIŞ ÜRÜN ZARARLISI BÖCEKLERE KARŞI LAVANTA UÇUCU YAĞLARININ KULLANIM POTANSİYELİ

POTENTIAL OF LAVENDER ESSENTIAL OILS FOR THE CONTROL OF STORED-PRODUCT INSECT PESTS

Evrim SÖNMEZ

Sinop Üniversitesi, Eğitim Fakültesi/Matematik Ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü/Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı, Sinop, Türkiye, Orcid: 0000-0002-5412-5728

Özet

Depolanmış ürün zararlıları, tahıl, baklagil, unlu mamuller ve diğer kuru gıda ürünlerinde miktar ve kalite kaybına yol açarak önemli ekonomik sorunlara neden olmaktadır. Bu zararlılarla mücadelede yaygın olarak kullanılan sentetik insektisitler direnç gelişimi, kalıntı riski, çevresel kirlilik ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle giderek daha fazla endişe uyandırmaktadır. Bu nedenle, bitkisel kökenli alternatif mücadele araçlarına yönelik ilgi son yıllarda belirgin biçimde artmıştır. Bitkisel kökenli uçucu yağlar biyolojik olarak parçalanabilir olmaları, çevreyle daha uyumlu özellik göstermeleri ve çok yönlü etki mekanizmalarına sahip olmaları nedeniyle zararlı böceklerle mücadelede dikkat çeken alternatifler arasında yer almaktadır. Ayrıca bu bileşikler, toksik etkilerinin yanında repellent, beslenmeyi engelleyici, gelişimi baskılayıcı ve üremeyi azaltıcı özellikleriyle de entegre zararlı yönetimi programları açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Son yıllarda *Lavandula angustifolia*, *L. x intermedia*, *L. stoechas* ve *L. latifolia* gibi lavanta türlerinden elde edilen uçucu yağlar ile depolanmış ürün zararlılarının mücadele araştırmaları hızla artmaktadır. Bu yağların kimyasal bileşiminde genellikle linalool, linalil asetat, 1,8-sineol, kafur, terpinen-4-ol ve borneol gibi monoterpen bileşenler baskın olarak bulunmaktadır. Söz konusu bileşenler, zararlı böceklerde sinir sistemi üzerinde etkili olarak temas, fumigasyon veya kombine uygulamalarda mortalite artışına neden olabilmekte, ayrıca davranışsal ve gelişimsel süreçleri de bozabilmektedir. Literatürde, lavanta uçucu yağlarının *Sitophilus oryzae, Rhyzopertha dominica, Tribolium castaneum, Oryzaephilus surinamensis, Tenebrio molitor, Callosobruchus maculatus* ve *Acanthoscelides obtectus* gibi önemli depolanmış ürün zararlıları üzerinde insektisidal, repellent ve gelişim engelleyici etkiler gösterdiği bildirilmektedir. Bununla birlikte, etkinliğin kullanılan lavanta türüne, yağın kimyasal profiline, konsantrasyon miktarına, uygulama yöntemine, maruz kalma süresine ve hedef böcek türün gelişim evresine bağlı olarak değişebildiği görülmektedir. Özellikle ana metabolitlerin tek başına ve uçucu yağın tamamı ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi, hangi bileşenlerin biyolojik olarak daha belirleyici olduğunu ortaya koymak açısından önemlidir. Sonuç olarak, lavanta uçucu yağları depolanmış ürün zararlılarına karşı çevre dostu biyopestisit geliştirme çalışmaları için güçlü ve umut verici adaylar olarak değerlendirilmektedir. Bu derlemede, özellikle farklı lavanta türlerinden elde edilen uçucu yağların depolanmış ürün zararlıları üzerindeki kullanımı genel bir çerçevede değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Biopestisit, bioinsektisit, bitkisel uçucu yağ, çevresel kirlilik, zararlı böcekler

Abstract

Stored-product pests cause substantial economic losses by reducing both the quantity and quality of cereals, legumes, flour-based products, and other dried food commodities. Synthetic insecticides, which are widely used in the control of these pests, have raised increasing concern because of resistance development, residue risk, environmental contamination, and adverse effects on human health. For this reason, interest in plant-based alternative control tools has increased markedly in recent years. Plant-derived essential oils are considered among the most promising alternatives for pest management because they are biodegradable, more environmentally compatible, and possess multiple modes of action. In addition to their toxic effects, these compounds also have repellent, feeding-deterrent, growth-inhibitory, and reproduction-reducing properties, which give them considerable potential within integrated pest management programmes. In recent years, studies on the use of essential oils obtained from lavender species such as *Lavandula angustifolia*, *L.* × *intermedia*, *L. stoechas*, and *L. latifolia* against stored-product pests have increased rapidly. The chemical composition of these oils is generally dominated by monoterpene compounds such as linalool, linalyl acetate, 1,8-cineole, camphor, terpinen-4-ol, and borneol. These constituents may act on the nervous system of insect pests and cause increased mortality under contact, fumigation, or combined applications, while also disrupting behavioural and developmental processes. The literature indicates that lavender essential oils exhibit insecticidal, repellent, and developmental inhibitory effects against important stored-product pests such as *Sitophilus oryzae*, *Rhyzopertha dominica*, *Tribolium castaneum*, *Oryzaephilus surinamensis*, *Tenebrio molitor, Callosobruchus maculatus*, and *Acanthoscelides obtectus*. However, their effectiveness appears to vary depending on the lavender species used, the chemical profile of the oil, the concentration applied, the method of application, the exposure period, and the developmental stage of the target insect species. In particular, evaluating the main metabolites both individually and in comparison with the whole essential oil is important for identifying which components play a more decisive role in the biological activity. In conclusion, lavender essential oils are regarded as strong and promising candidates for the development of environmentally friendly biopesticides against stored-product pests. In this review, the use of essential oils obtained from different lavender species against stored-product pests is evaluated within a general framework.

Keywords: Biopesticide, bioinsecticide, plant essential oil, environmental pollution, pests

BAKIR ÜRETİM SÜREÇLERİNDE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİSİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ

LİFE CYCLE ASSESSMENT OF CLİMATE CHANGE IMPACTS İN COPPER PRODUCTİON PROCESSES

Ayşenur ÇOLAK[1], Semra ÇORUH[2]

[1]Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Samsun, Türkiye

Orcid: 0000-0002-5648-7618

[2]Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Samsun, Türkiye

Orcid: 0000-0002-8306-1890

Özet

Sürdürülebilirlik kavramı, madencilik sektörü açısından ekonomik fizibilitenin korunması, çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve sosyal kabul edilebilirliğin sağlanması arasındaki dengenin kurulmasını ifade etmektedir. Artan çevresel baskılar, iklim değişikliği ile mücadele hedefleri ve doğal kaynakların sınırlı yapısı, madencilik faaliyetlerinin yalnızca üretim odaklı yaklaşımlarla yürütülmesini yetersiz kılmakta; bu durum sürdürülebilir madenciliği sektör için temel bir gereklilik haline getirmektedir.

Güncel literatürde sürdürülebilir madencilik, maden yaşam döngüsünün tüm aşamalarını kapsayan bütüncül bir yaklaşım olarak ele alınmaktadır. Bu yaklaşım; arama ve çıkarma faaliyetlerinden başlayarak cevher hazırlama, zenginleştirme, atık yönetimi ve maden kapatma süreçlerine kadar uzanan tüm aşamaların çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarıyla birlikte değerlendirilmesini öngörmektedir. Özellikle erken aşamalarda alınacak çevresel yönetim önlemlerinin, ilerleyen süreçlerde ortaya çıkabilecek çevresel riskleri önemli ölçüde azaltabileceği vurgulanmaktadır. Bu doğrultuda, madencilik sektöründe çevresel etkilerin sistematik ve nicel yöntemlerle değerlendirilmesi, sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşılması açısından giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Metal üretim süreçleri, yüksek enerji tüketimi ve buna bağlı sera gazı emisyonları nedeniyle çevresel etkiler açısından kritik bir konumda yer almaktadır. Bu kapsamda bakır üretimi, enerji yoğun yapısı nedeniyle iklim değişikliği üzerinde belirgin etkiler oluşturmaktadır. Bu nedenle, bakır üretim süreçlerinin çevresel performansının bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi, sürdürülebilir madencilik uygulamalarının geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, bakır konsantresi üretim süreçlerinin iklim değişikliği üzerindeki etkisi, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi yöntemi kullanılarak incelenmiş ve küresel ısınma etki kategorisine odaklanılmıştır. Çalışmada fonksiyonel birim olarak 1 ton bakır konsantresi üretimi esas alınmış, sistem sınırları beşikten kapıya (cradle-to-gate) yaklaşımı ile tanımlanmıştır.

Modelleme çalışmaları SimaPro 9.1.1.7 yazılımı ve ecoinvent 3.6 veritabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çevresel etkiler CML-IA Baseline ve ReCiPe 2016 Midpoint yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Üretim sürecinde dizel tüketimi, elektrik kullanımı, patlatma işlemleri ve zenginleştirme aşamasında kullanılan kimyasal girdiler dikkate

alınmıştır. İklim değişikliği etki kategorisi kapsamında toplam sera gazı emisyonları kg CO_2 eşdeğeri cinsinden hesaplanmıştır.

Elde edilen bulgular, toplam iklim değişikliği etkisinin büyük ölçüde enerji tüketiminden kaynaklandığını göstermektedir. Özellikle madencilik faaliyetlerinde kullanılan dizel yakıt ile zenginleştirme süreçlerindeki elektrik tüketimi en yüksek katkıyı sağlamaktadır. Patlatma ve diğer yardımcı süreçlerin katkısı ise sınırlı düzeydedir.

Sonuç olarak, bakır üretim süreçlerinde karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik olarak enerji verimliliğinin artırılması ve yakıt kullanımının optimize edilmesi kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, sürdürülebilir madencilik uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlayacak önemli bulgular sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, İklim Değişikliği, Bakır üretimi, Sürdürülebilir madencilik, Karbon ayak izi

Abstract

The concept of sustainability in the mining sector refers to maintaining a balance between economic feasibility, minimizing environmental impacts, and ensuring social acceptability. Increasing environmental pressures, climate change mitigation targets, and the limited nature of natural resources have rendered production-oriented approaches in mining insufficient, making sustainable mining a fundamental necessity for the sector.

In the current literature, sustainable mining is addressed as a holistic approach encompassing all stages of the mine life cycle. This approach involves evaluating the environmental, economic, and social impacts of all processes, from exploration and extraction to ore preparation, beneficiation, waste management, and mine closure. In particular, environmental management measures implemented at early stages are emphasized as being effective in significantly reducing potential environmental risks in later phases. In this context, the systematic and quantitative assessment of environmental impacts in the mining sector has gained increasing importance in achieving sustainability goals.

Metal production processes occupy a critical position in terms of environmental impacts due to their high energy consumption and associated greenhouse gas emissions. Within this scope, copper production, as an energy-intensive process, has significant impacts on climate change. Therefore, evaluating the environmental performance of copper production processes through a holistic approach is of great importance for the development of sustainable mining practices.

In this study, the climate change impacts of copper concentrate production processes were assessed using the Life Cycle Assessment method, with a particular focus on the global warming impact category. The functional unit was defined as the production of 1 ton of copper concentrate, and the system boundaries were determined as cradle-to-gate.

The modeling was carried out using SimaPro 9.1.1.7 software and the ecoinvent 3.6 database. Environmental impacts were evaluated using the CML-IA Baseline and ReCiPe 2016 Midpoint methods. Key inputs considered in the production process included diesel consumption, electricity use, blasting operations, and chemical inputs used in the beneficiation stage. Within the climate change impact category, total greenhouse gas emissions were quantified in terms of kg CO_2 equivalent.

The results indicate that the overall climate change impact is largely driven by energy consumption. In particular, diesel fuel used in mining operations and electricity consumption

during beneficiation processes were identified as the major contributors, while the contribution of blasting and other auxiliary processes remains limited.

In conclusion, improving energy efficiency and optimizing fuel consumption are critical for reducing the carbon footprint of copper production processes. The findings of this study provide valuable insights for the development of sustainable mining practices.

Keywords: Life Cycle Assessment, Climate Change, Copper Production, Sustainable Mining, Carbon Footprint

YABANİ VE KÜLTÜRE ALINMIŞ TARIM EKOSİSTEMLERİNDE BİTKİ-PATOJEN ORTAK EVRİMİNE EKOLOJİK BAKIŞ AÇILARI

ECOLOGİCAL PERSPECTİVES ON PLANT–PATHOGEN CO-EVOLUTİON İN WİLD AND CULTİVATED AGROECOSYSTEMS

Talap TALAPOV[1], Melike AĞDAĞ[2,] Büşra ORBAY[3], Olcay DEDECAN4, Canan CAN[5]

[1,2,3,4,5]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep/Türkiye

Özet

Fungal bitki patojenleri, ürün bitkilerini etkileyen, verimi ve kaliteyi önemli ölçüde azaltan ve küresel gıda güvenliğine potansiyel bir tehdit oluşturan başlıca biyotik stres faktörleridir. Patojen kaynaklı kayıpları azaltmak için çok sayıda hastalık yönetimi stratejisi geliştirilmiş olsa da, fungal patojenlerin hızlı evrimsel potansiyeline ayak uydurmak büyük bir zorluk olmaya devam etmektedir. Bu nedenle, patojenlerin yeni geliştirilen dirençli çeşitlere ve ıslah hatlarına yanıt olarak nasıl evrimleştiğini anlamak çok önemlidir. Bitki-patojen ortak evrimi olarak bilinen bu süreç, hem bitki patolojisi hem de evrimsel biyolojide merkezi bir araştırma alanını temsil etmektedir. Konakçıya özgü bitki-patojen etkileşimleri, ortak evrimsel süreçleri incelemek için güçlü model sistemler sağlar. Birçok patojen, yalnızca kültüre alınmış mahsulleri değil, aynı zamanda yabani akrabalarını da enfekte edebilmektedir. Bu tür çift konakçılı sistemler özellikle bilgilendiricidir, çünkü araştırmacıların patojenitenin nasıl evrimleştiğini, nasıl korunduğunu ve farklı ekolojik bağlamlarda nasıl değiştiğini araştırmalarına olanak tanır. Yabani ve kültive edilmiş tarım ekosistemleri, konakçı genetik çeşitliliği, bitki yoğunluğu ve insan kaynaklı seçilim baskılarının yoğunluğu açısından belirgin farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, konakçılardaki direncin ve patojenlerdeki virülansın maliyetleri ve faydaları da dahil olmak üzere, eşevrimsel dinamikleri güçlü bir şekilde etkiler. Tarım sistemlerinde, genetik çeşitliliğinin düşük olması ve yüksek konakçı yoğunluğu genellikle klonal patojen soylarının hızlı yayılmasını destekleyerek salgın riskini artırır. Buna karşılık, yabani ekosistemlerdeki patojen popülasyonları tipik olarak daha büyük çevresel heterojenliğe ve konakçı çeşitliliğine maruz kalır; bu da daha yüksek adaptif esnekliği teşvik edebilir ve kesinlikle klonal stratejilerin uzun vadeli başarısını kısıtlayabilir. Konakçı-patojen eşevrimsel dinamiklerini açıklamak için çeşitli teorik çerçeveler önerilmiştir. Bu derlemede, bu çerçeveler, özellikle yabani ve kültive edilmiş tarım ekosistemleriyle ilgili olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, ekolojik bağlamın ortak evrimsel yörüngeleri nasıl şekillendirdiğini göstermek için, hem yabani hem de kültive edilmiş konakçıları içeren patosistemler de dahil olmak üzere seçilmiş vaka çalışmaları ele alınmıştır.

Anahtar kelimeler Bitki-Patojen Ortak Evrimi; Patojen Dinamikleri; Yabani Tarım Ekosistemleri; Kültive Edilmiş Tarım Ekosistemleri

Abstract

Fungal plant pathogens are major biotic stress factors affecting crop plants, significantly reducing yield and quality and posing a potential threat to global food security. Although numerous disease management strategies have been developed to mitigate pathogen-induced losses, keeping pace with the rapid evolutionary potential of fungal pathogens remains a major challenge. Therefore, understanding how pathogens evolve in response to newly developed resistant cultivars and breeding lines is essential. This process, known as plant–pathogen coevolution, represents a central research area in both plant pathology and evolutionary biology. Host-specific plant–pathogen interactions provide powerful model systems for studying coevolutionary processes. Many pathogens are capable of infecting not only cultivated crops but also their wild relatives. Such dual-host systems are particularly informative, as they allow researchers to investigate how pathogenicity evolves, is maintained, and shifts across different ecological contexts. Wild and cultivated agroecosystems differ markedly in terms of host genetic diversity, plant density, and the intensity of anthropogenic selection pressures. These differences strongly influence coevolutionary dynamics, including the costs and benefits of resistance in hosts and virulence in pathogens. In agricultural systems, genetic uniformity and high host density often favor the rapid spread of clonal pathogen lineages, increasing epidemic risk. In contrast, pathogen populations in wild ecosystems are typically exposed to greater environmental heterogeneity and host diversity, which may promote higher adaptive flexibility and constrain the long-term success of strictly clonal strategies. Several theoretical frameworks have been proposed to explain host–pathogen coevolutionary dynamics. In this review, these frameworks are evaluated with a particular focus on their relevance to wild and cultivated agroecosystems. Furthermore, selected case studies, including pathosystem involving both wild and cultivated hosts, are discussed to illustrate how ecological context shapes coevolutionary trajectories.

Keywords: Plant–Pathogen Coevolution; Pathogen Dynamics; Wild Agroecosystems; Cultivated Agroecosystems

BİTKİ DOKU KÜLTÜRÜ YAKLAŞIMLARININ BİYOTEKNOLOJİK VE TARIMSAL UYGULAMALARI

BİOTECHNOLOGİCAL AND AGRİCULTURAL APPLİCATİONS OF PLANT TİSSUE CULTURE APPROACHES

Abdullah DEMİR[1], Canan CAN[2]

[1,2]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep/Türkiye

Özet

Bitki doku kültürü, aseptik koşullar altında yapay besi ortamlarında hücre, doku veya organ gibi eksplantlardan yeni bitkilerin rejenerasyonunu sağlayan ileri düzey bir biyoteknolojik üretim sistemidir. Bu teknik; hızlı ve yüksek oranda çoğaltım, hastalıklardan ari bitki materyali eldesi, genetik kaynakların korunması, sekonder metabolit üretimi ve bitki ıslahı gibi çok sayıda alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, geleneksel çoğaltım yöntemlerinin yetersiz kaldığı türlerde etkin çözümler sunarak, tarımsal üretimde kalite ve verim artışına önemli katkılar sağlamaktadır.

Bitki doku kültürü teknikleri arasında mikroçoğaltım, embriyo kültürü, protoplast füzyonu, kallus kültürü, süspansiyon kültürü, kök kültürü ile anter ve polen kültürü başlıca uygulama alanlarını oluşturmaktadır. Mikroçoğaltım, sınırlı başlangıç materyalinden kısa sürede çok sayıda bitki elde edilmesine olanak tanırken; embriyo kültürü, çimlenme engellerinin aşılması, embriyo kurtarma ve türler arası melezlemelerde hibrit materyalin yaşatılması açısından önem taşımaktadır. Protoplast füzyonu, eşeysel uyuşmazlık gösteren türler arasında somatik hibritizasyon yoluyla genetik materyal transferine imkân sağlamaktadır. Kallus ve süspansiyon kültürleri, kontrollü koşullarda hücre çoğaltımı ve sekonder metabolit üretimi bakımından öne çıkmaktadır. Rhizobium rhizogenes aracılığıyla oluşturulan kök kültürleri, özellikle farmasötik öneme sahip metabolitlerin üretiminde etkili bir sistem sunmaktadır. Anter ve polen kültürleri ise haploid ve çift haploid bitkilerin elde edilmesi yoluyla homozigot hat geliştirilmesini hızlandırmakta ve ıslah programlarında stratejik bir rol üstlenmektedir. Sonuç olarak, bitki doku kültürü teknikleri; sürdürülebilir tarımsal üretim, biyoteknolojik yenilikler, genetik iyileştirme ve endüstriyel biyoprodukt eldesi açısından yüksek potansiyele sahip, çok yönlü ve stratejik bir araştırma ve uygulama alanıdır.

Anahtar kelimeler: Bitki doku kültürü, in vitro kültür, mikroçoğaltma, biyoteknoloji, bitki ıslahı

Abstract

Plant tissue culture is an advanced biotechnological production system that enables the regeneration of new plants from explants such as cells, tissues, or organs under aseptic conditions on artificial nutrient media. This technique is widely utilized in numerous fields, including rapid and large-scale propagation, production of disease-free plant material, conservation of genetic resources, secondary metabolite production, and plant breeding. Moreover, it provides effective solutions for species in which conventional propagation methods are inadequate, thereby contributing significantly to improvements in both quality and productivity in agricultural production.

Among the principal plant tissue culture techniques are micropropagation, embryo culture, protoplast fusion, callus culture, suspension culture, root culture, and anther and pollen culture. Micropropagation enables the rapid production of large numbers of plants from limited initial material, whereas embryo culture is particularly important for overcoming germination barriers, embryo rescue, and the maintenance of hybrid materials in interspecific crosses. Protoplast fusion facilitates the transfer of genetic material through somatic hybridization between sexually incompatible species. Callus and suspension cultures are particularly prominent for controlled cell proliferation and secondary metabolite production. Root cultures established via *Rhizobium rhizogenes* provide an effective system, especially for the production of metabolites of pharmaceutical importance. In addition, anther and pollen culture accelerate the development of homozygous lines through the production of haploid and doubled haploid plants, thus playing a strategic role in plant breeding programs.

In conclusion, plant tissue culture techniques represent a versatile and strategic field of research and application with substantial potential for sustainable agricultural production, biotechnological innovation, genetic improvement, and the industrial production of bioproducts.

Keywords: Plant tissue culture, in vitro culture, micropropagation, biotechnology, plant breeding

DÜNYA GENELİNDE SARIMSAKTA (*Allium sativum* L.) *Stemphylium* TÜRLERİNİN DNA BARKODLAMA İLE MOLEKÜLER TANIMLANMASI

Büşra ORBAY[1], Melike AĞDAĞ[2], Olcay DEDECAN[3], Canan CAN[4]

[1,2,3,4] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep/Türkiye

Özet

Sarımsak (*Allium sativum L.*), Amaryllidaceae familyasına ait olup dişleri aracılığıyla vejetatif olarak çoğaltılan bir sebzedir. Tıbbi ve aromatik özellikleri sayesinde birçok hastalığa karşı koruyucu etki göstermesinin yanı sıra, kendine özgü tat ve kokusuyla dünya mutfağında önemli bir yere sahiptir. Dünyada sarımsak üretimindeki artışla beraber sarımsak üretimini kısıtlayan faktörler de artmaktadır. Hastalıklar, zararlılar ve abiyotik faktörler, hasat öncesi ve hasat sonrası sarımsak kayıplarının öncelikli nedenleri arasında sıralanmaktadır. Funguslar içerisinde *Stemphylium* yaprak yanıklığı hastalığıda sarımsak üretiminde önemli verim kaybına neden olmaktadır. *Stemphylium* sp. (Teleomorf: *Pleospora* sp.) fungi aleminin Ascomycota şubesinin Pleosporaceae ailesine ait homotallik bir fungus cinsidir. *Stemphylium*'un tipik belirtilerinden biri yaprak uçlarının nekrotik olarak ölmesidir. Hastalığın yayılmasıyla ilk belirti lezyonların asimetrik bir düzende yaprak boyunca hızla ilerleyerek daha ilerleyen dönemlerde ise tamamen yaprak dökülmesine neden olmaktadır. Bitki hastalık etmenlerinin yaygınlığının belirlenmesi, morfolojik, patojenik ve moleküler tanımlamalarının gerçekleştirilmesi etkin mücadele yöntemlerinin belirlenmesi için gereklidir. DNA barkodları, genom üzerinde önceden belirlenmiş ve karakterize edilmiş bölgelerde yer alan, genellikle 600–1500 baz çifti uzunluğunda kısa DNA dizileridir. Bu bölgelerden elde edilen diziler, türlerin moleküler düzeyde tanımlanmasına olanak sağlayarak hem tür içi hem de türler arası ilişkilerin ortaya konmasında güvenilir bir araç olarak kullanılmaktadır. Elde edilen diziler, mevcut barkod veri tabanlarıyla karşılaştırılarak biyoinformatik analizler yardımıyla değerlendirilir ve tür tayini gerçekleştirilir. Bu yöntem, özellikle morfolojik olarak ayırt edilmesi güç olan türlerin belirlenmesinde önemli avantajlar sunmakta ve klasik tanımlama yöntemlerine güçlü bir destek sağlamaktadır. Bu incelemenin amacı; sarımsak (*Allium sativum* L.) üretiminde önemli verim kayıplarına neden olan *Stemphylium* türlerinin yaygınlığını ortaya koymak, bu etmenlerin morfolojik, patojenik ve özellikle moleküler (DNA barkodlama) yöntemlerle doğru bir şekilde tanımlanmasını sağlamak ve elde edilen veriler doğrultusunda etkin mücadele stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktır. Ayrıca, DNA barkodlama yönteminin, morfolojik olarak ayırt edilmesi güç olan türlerin güvenilir ve hızlı teşhisindeki rolünün vurgulanması da bu çalışmanın temel hedefleri arasında yer almaktadır.

Anahtar kelimeler: Sarımsak , *Stemphylium*,Yaprak Yanıklığı , DNA Barkodlama, Yaygınlık

MOLECULAR IDENTİFİCATİON of *Stemphylium* SPECİES İN GARLİC (*Allium sativum* L.) WORLDWİDE BY DNA BARCODİNG

Abstract

Garlic (Allium sativum L.) is a vegetable belonging to the Amaryllidaceae family, propagated vegetatively through its cloves. Thanks to its medicinal and aromatic properties, it offers protection against many diseases, and its unique taste and aroma give it an important place in world cuisine. With the increase in garlic production worldwide, the factors limiting garlic production are also increasing. Diseases, pests, and abiotic factors are among the primary causes of pre-harvest and post-harvest garlic losses. Among fungi, *Stemphylium* leaf blight disease causes significant yield loss in garlic production. *Stemphylium* sp. (Teleomorph: *Pleospora* sp.) is a genus of homothallic fungi belonging to the Pleosporaceae family of the Ascomycota phylum. One of the typical symptoms of *Stemphylium* is the necrotic death of the leaf tips. As the disease spreads, the first symptom is the rapid progression of lesions in an asymmetrical pattern along the leaf, eventually leading to complete leaf fall. Determining the prevalence of plant disease agents and performing their morphological, pathogenic, and molecular characterizations is essential for identifying effective control methods. DNA barcodes are short DNA sequences, typically 600–1500 base pairs long, located in pre-defined and characterized regions on the genome. Sequences obtained from these regions allow for the molecular identification of species, serving as a reliable tool for revealing both intraspecific and interspecific relationships. The obtained sequences are evaluated using bioinformatic analyses by comparing them with existing barcode databases, and species identification is performed. This method offers significant advantages, particularly in identifying species that are difficult to distinguish morphologically, and provides strong support to classical identification methods. The aim of this study is to determine the prevalence of Stemphylium species, which cause significant yield losses in garlic (*Allium sativum* L.) production, to ensure the accurate identification of these agents using morphological, pathogenic, and especially molecular (DNA barcoding) methods, and to contribute to the development of effective control strategies based on the obtained data. Furthermore, highlighting the role of DNA barcoding in the reliable and rapid identification of species that are difficult to distinguish morphologically is among the main objectives of this study.

Keywords: Garlic, *Stemphylium,* Leaf Blight, DNA Barcoding, Prevalence

SARIMSAKTA SÜRDÜRÜLEBİLİR GELECEK: AGROEKOLOJİK YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMALAR

A SUSTAİNABLE FUTURE FOR GARLİC: AGROECOLOGİCAL APPROACHES AND PRACTİCES

Melike AĞDAĞ[1], Büşra ORBAY[2] , Olcay DEDECAN[3], Canan CAN[4]

[1,2,3,4]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep/Türkiye

Özet

Agroekoloji ; Doğal kaynakların korunarak biyoçeşitliliğin korunmasına, bitki ve hayvan artıklarının toprağın iyileşmesi ve verimli toprak elde etmek için kullanılmasına, iklim değişikliklerinin olumsuz etkilerinin azalmasına katkı sağlayan bir çalışma şeklidir. Çevre sorunlarını azaltırken gıda üretimini artırma ve güvence altına alma zorluğu, tarım ve doğal kaynak yönetimi için yeni paradigmalarla ilişkilidir. Bunlardan birisi olan agroekolojik uygulamalar, önemli miktarda gıda üretmeyi amaçlamaktadır. Ekolojik süreçleri ve ekosistem hizmetlerini en iyi şekilde değerlendiren ve bunların geliştirilmesinde temel bir unsur olan ve sıradan tekniklere dayanmayan uygulamalardan biridir. Sarımsak (*Allium sativum L.*) agroekolojik çalışmalar için uygun bir bitki türüdür. Sarımsak geniş arazilerde yayılım gösteren tarla bitkisi olarak bilinmektedir. Yetiştiriciliğinde sadece ekonomik değeri ile değil , ekosisteme sunduğu hizmet ile de önemli bir bitki türü olarak bilinmektedir. Agroekolojik uygulamaların birçok açıdan (ekonomik, sosyal, çevresel, politik, teknolojik, etik vb.) sürdürülebilir ve çevre dostu uygulamalar olduğu düşünülerek seralarda uygulanan ve uygulanabilecek düzeyde birçok agroekolojik uygulama olduğu bilinmektedir. Bu uygulamalar bu çalışmada pestisit kullanımın azaltılması, biyolojik ve biyoteknik mücadelenin yaygınlaştırılması, biyodinamik preparatların kullanılması, iyi tarım uygulamaları, organik tarım, hassas tarım, organik ve yeşil gübre kullanımı, uzaktan izleme ve yönetim sistemi, damla sulama ve ekim nöbeti olarak bir çok bileşenlerinin olduğu belirlenmiştir. Sarımsak özellikle toprak yorgunluğunu giderme ve hastalık döngülerini kırma veya azaltma kapasitesiyle öne çıkan bitkilerden biridir. Geleneksel tarım uygulamalarında genellikle tek başına ekimi yapılan bir ürün olarak yetiştirilen sarımsak , modern agroekolojik uygulamalarda stratejik bir ara ürün potansiyeli taşımaktadır. Özellikle sarımsak bitkisi için uygun arazi yerlerinin ve işletme ölçeklerinin küçük olduğu bölgelerde, ara ürün yetiştiriciliği; mevcut kaynakların birim alanda yoğunlaştırılması sayesinde verimliliği artırmak adına kritik bir çözüm sunmaktadır. Sarımsak temelli bu üretim sistemi; üretim risklerinin minimalize edip, iş gücü ve doğal kaynakların etkin kullanımı, erozyon kontrolü ve gıda güvenliği gibi bir çok alanda avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca bu yöntem, ürünün tamamen yok olma riskine karşı biyolojik bir güvence oluşturmaktadır ve sarımsağın doğal uzaklaştırıcı özellikleri sayesinde hastalık ve zararlı ertmenlerini de önemli ölçüde azaltmaktadır. Yapılan çalışmalarda, sarımsağın ara ürün sistemleriyle birleşmesi, diğer sistemlere oranla daha yüksek bir büyüme performansı, artan biyolojik verimlilik ve optimum kaynak kullanımı sergilediğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler Agroekoloji , Sarımsak , Sürdürülebilir Tarım ,Toprak Kalitesi , Ekim Nöbeti

Abstract

Agroecology is a field of study that contributes to the conservation of biodiversity by protecting natural resources, the use of plant and animal remains to improve soil and obtain fertile soil, and the reduction of the negative effects of climate change. The challenge of increasing and securing food production while reducing environmental problems is related to new paradigms for agriculture and natural resource management. One of these, agroecological practices, aims to produce significant amounts of food. It is one of the practices that best evaluates ecological processes and ecosystem services, is a fundamental element in their improvement, and does not rely on ordinary techniques. Garlic (Allium sativum L.) is a suitable plant species for agroecological studies. Garlic is known as a field crop that spreads over large areas. In its cultivation, it is known as an important plant species not only for its economic value but also for the services it provides to the ecosystem. Considering that agroecological practices are sustainable and environmentally friendly in many aspects (economic, social, environmental, political, technological, ethical, etc.), it is known that there are many agroecological practices applied and applicable in greenhouses. In this study, it was determined that these practices include many components such as reducing pesticide use, widespread use of biological and biotechnical control, use of biodynamic preparations, good agricultural practices, organic farming, precision agriculture, use of organic and green fertilizers, remote monitoring and management systems, drip irrigation, and crop rotation. Garlic is one of the plants that stands out especially for its capacity to alleviate soil fatigue and break or reduce disease cycles. Garlic, which is generally grown as a solitary crop in traditional agricultural practices, has strategic intercropping potential in modern agroecological practices. Especially in regions where suitable land areas and farm scales for garlic cultivation are small, intercropping offers a critical solution to increase productivity by concentrating existing resources per unit area. This garlic-based production system minimizes production risks and provides advantages in many areas such as efficient use of labor and natural resources, erosion control, and food security. In addition, this method provides a biological safeguard against the risk of complete crop extinction and significantly reduces disease and pest infestations thanks to garlic's natural repellent properties. Studies have shown that combining garlic with intermediate crop systems results in higher growth performance, increased biological efficiency, and optimal resource utilization compared to other systems.

Keywords: Agroecology, Garlic, Sustainable Agriculture, Soil Quality, Crop Rotation

AN ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF NATURAL ADSORBENTS ON WATER PARAMETERS IN AQUACULTURE

Dilek ŞAHİN[1], Meryem ÖZ[2], Ünal ÖZ[3]

[1]Sinop University, Vocatıonal Hıgh School, Underwater Technologies, Sinop/ Türkiye Orcid: 0000-0003-4454-9030

[2]Sinop Unıversıty, Faculty Of Aquaculture, Department Of Aquaculture, Sinop/ Türkiye Orcid: 0000-0002-7803-8207

[3] Sinop Unıversıty, Faculty Of Aquaculture, Department Of Aquaculture, Sinop/ Türkiye Orcid: 0000-0003-1918-3284

Abstract

Ammonia accumulation is one of the most critical challenges in aquaculture. Consequently, the removal of excessive nitrogenous compounds from aquaculture systems is an imperative process. Various physical, chemical, and biological treatment methods are employed to mitigate the accumulation of nitrogenous compounds. Ion exchange and adsorption techniques offer numerous advantages, such as high ammonium removal efficiency, cost-effectiveness, selectivity, ease of application, operation, and environmental compatibility. This study investigated the effects of zeolite, bentonite, leonardite, and combinations of leonardite with zeolite and bentonite on ammonia removal. The experiment was conducted in a fish-free environment using commercial ornamental fish feed containing 47.5% crude protein as the ammonia source. The 10-day study consisted of six groups with three replicates each: Z (3 g zeolite), B (3 g bentonite), L (3 g leonardite), BL (1.5 g bentonite + 1.5 g leonardite), ZL (1.5 g zeolite + 1.5 g leonardite), and C (Control/no adsorbent). The results demonstrated that in the groups containing leonardite and its combinations, unionized ammonia (NH3) levels remained within ideal limits for aquaculture (below 0.05 mg/L) until the final stages of the trial. Furthermore, a decrease in pH values was observed in the leonardite-containing groups compared to others, maintaining levels suitable for fish farming. In conclusion, it was determined that leonardite, followed by the other adsorbents, has significant efficacy in ammonia removal within aquaculture systems.

Keywords: Zeolite, bentonite, leonardite, ammonia, aquaculture

ELEKTRONİK ATIKLARIN SÜRDÜRÜLEBİLİR GERİ KAZANIMI
SUSTAINABLE RECYCLING OF ELECTRONIC WASTE

Şeyma AKKURT

Karabük Üniversitesi, Doğa Koruma ve Biyoçeşitlilik Yönetimi, Karabük, Türkiye
Orcid: 0000-0002-0135-1975

Özet

Elektronik atıklar (e-atık), dijitalleşmenin hızlanması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesiyle birlikte küresel ölçekte giderek büyüyen bir çevresel sorun haline gelmiştir. Birleşmiş Milletler verilerine göre 2022 yılında dünya genelinde yaklaşık 62 milyon ton e-atık oluşmuş ve bu miktarın yalnızca %22,3'ü resmî olarak toplanıp geri dönüştürülebilmiştir. Buna karşılık e-atık üretiminin 2010–2022 arasında önemli ölçüde artış gösterdiği ve bu eğilimin devam ederek 2030'da yaklaşık 82 milyon tona ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Bu durum, elektronik atıkların sürdürülebilir e-atık yönetimini çevresel ve ekonomik açıdan kritik bir konu haline getirmektedir. Özellikle ağır metaller (Pb, Hg, Cd) ve kalıcı organik kirleticiler nedeniyle toprak, su ve atmosferik ortamlarda uzun süreli risk oluşturmaktadır. E-atıkların çevre ve insan sağlığı üzerindeki artan etkileriyle mücadele etmek için sürdürülebilir e-atık yönetim stratejilerinin benimsenmesi hayati önem taşımaktadır. Mekanik ayrıştırma, pirometalurjik ve hidrometalurjik prosesleri gibi klasik yaklaşımlara ek olarak biyoliçleme ve daha çevre dostu "yeşil" çözücü temelli yöntemler ve dijital teknolojiler ön plana çıkmıştır. Özellikle yapay zekâ destekli görüntü işleme sistemleri, atıkların türüne göre hızlı ve doğru sınıflandırılmasını sağlayarak geri kazanım süreçlerini daha verimli hale getirmektedir. Robotik ayrıştırma sistemleri ve sensör tabanlı akıllı tesisler sayesinde hem insan hatası azalmakta hem de geri kazanım oranları yükselmektedir. Bu teknolojiler yalnızca verimliliği artırmakla kalmayıp, aynı zamanda atığa bakış açısını "bertaraf edilmesi gereken bir yük" olmaktan çıkarıp "yeniden değerlendirilebilir bir kaynak" haline getirmektedir. Bu sürdürülebilir uygulamaları hayata geçirerek ve e-atıklar için döngüsel bir ekonomiye doğru ilerleyerek, elektronik atıkların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltabilir. Sonuç olarak e-atık yönetimi, teknik bir süreç olmanın ötesinde, kaynakların adil kullanımı ve çevresel sorumluluk bilinciyle şekillenen çok boyutlu bir dönüşüm alanı olarak ele alınmalıdır.

Anahtar kelimeler: Elektronik atık, yapay zekâ, ger kazanım, döngüsel ekonomi, sürdürülebilirlik.

Abstract

Electronic waste (e-waste) has become a growing global environmental problem due to the acceleration of digitalization and changing consumption habits. According to United Nations data, approximately 62 million tons of e-waste were generated worldwide in 2022, and only 22.3% of this amount was officially collected and recycled. In contrast, e-waste production increased significantly between 2010 and 2022, and this trend is expected to continue, reaching approximately 82 million tons by 2030. This situation makes sustainable e-waste management a critical issue from an environmental and economic perspective. It poses long-term risks to soil, water, and atmospheric environments, particularly due to heavy metals (Pb, Hg, Cd) and persistent organic pollutants. Adopting sustainable e-waste management strategies is vital to combat the increasing environmental and human health impacts of e-waste. In addition to classical approaches such as mechanical separation, pyrometallurgical and hydrometallurgical processes, bioleaching and more environmentally friendly "green" solvent-based methods and digital technologies have come to the forefront. In particular, AI-powered image processing systems enable rapid and accurate classification of waste according to type, making recovery processes more efficient. Robotic sorting systems and sensor-based smart facilities reduce human error and increase recovery rates. These technologies not only increase efficiency but also shift the perspective on waste from "a burden to be disposed of" to "a recyclable resource." By implementing these sustainable practices and moving towards a circular economy for e-waste, we can significantly reduce the negative impacts of electronic waste on the environment and human health. In conclusion, e-waste management should be considered not merely a technical process, but a multi-dimensional transformation area shaped by the equitable use of resources and environmental responsibility.

Keywords: Electronic waste, artificial intelligence, recovery, circular economy, sustainability.

TRİPLE INTERACTİON İN THE RHİZOSPHERE: EFFECTS OF ARBUSCULAR MYCORRHİZAL FUNGİ (AMF), *Nigella sativa* L. Residues, and *Trichoderma harzianum* APPLİCATİONS ON THE GROWTH OF CURLY LETTUCE (*Lactuca sativa* L. var. crispa)

Sezgin ARDA

Adıyaman University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Adıyaman-Türkiye, Orcid: 0009-0003-9166-5015

Yemliha ÇİRKİN

Adıyaman University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Adıyaman-Türkiye, Orcid: 0009-0008-9433-5528

Hasret GÜNEŞ

Adıyaman University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Adıyaman-Türkiye, Orcid: 0000-0003-3155-2695

Ceren Tutku Doğan

Gaziantep University, Faculty of Science and Letters, Department of Biology, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0009-2330-5636

Abstract

In this study, arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) (commercially available as ERS—Endo Roots Soluble) was applied at a 2% concentration to the plant *Lactuca sativa* L. var. *crispa* grown in a greenhouse. The study aims to determine the role of rhizosphere-based biological interactions on plant growth. Plant development and physiological performance were examined using photosynthesis, chlorophyll, leaf color measurements, and plant development and AMF development parameters. The findings indicate that photosynthetic activity and leaf color values were generally higher in the two- and three-component combination treatments. The highest shoot diameter values were observed in the single 2% *Nigella sativa* L. waste and *T. harzianum* treatments. In terms of shoot length, the *Nigella sativa* L. waste treatment stood out, while more variable results were obtained in the other treatments. The *T. harzianum* application demonstrated the most significant effect on root length, with an approximate 40% increase. The highest value for fresh weight was obtained in the AMF application, while both the AMF and triple combination applications provided significant increases in dry weight. Mycorrhizal dependency and root colonization rate (31%) were highest in the single AMF application, while soil AMF spore density reached its highest level (64%) in the triple combination application. The results indicate that the combined use of microbial inoculants and plant waste has variable but generally positive effects on physiological and morphological parameters and holds significant potential for sustainable greenhouse production systems.

Keywords: *Lactuca sativa*, Fennel seed waste, Biostimulants, Sustainable agriculture

EKSTREM ORTAMLARDA EVRİMSEL EKOLOJİ BAĞLAMINDA UYUM SÜREÇLERİ VE DAYANIKLILIK MEKANİZMALARI

ADAPTATION PROCESSES AND RESILIENCE MECHANISMS IN THE CONTEXT OF EVOLUTIONARY ECOLOGY IN EXTREME ENVIRONMENTS

Evra YILMAZ[1], Abuzer ÇELEKLİ[2]

[1] Gaziantep Üniversitesi, Fen, Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0009-0005-1177-6474

[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen, Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü,Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0000-0002-2448-4957

Özet

Ekstrem ortamlar, organizmaların fizyolojik tolerans sınırlarını, yaşam stratejilerini ve ekolojik sürekliliklerini sınayan; hidrotermal bacalar, kutup bölgeleri ve hipersalin göller gibi doğal habitatların yanı sıra ağır metal kirliliği, pestisit yükü, kentsel ısı adaları ve radyasyon kontaminasyonu gibi antropojenik stres alanlarını da kapsayan özgün ekosistemlerdir. Küresel iklim değişikliği, habitat parçalanması ve artan insan baskısı, bu ortamlarda yaşayan canlılar üzerinde yalnızca kademeli çevresel değişimler değil, aynı zamanda kuraklık, sıcak hava dalgaları, ani taşkınlar ve yangınlar gibi öngörülemez ve çoğu zaman birbirini tetikleyen ekstrem iklim olayları aracılığıyla çok boyutlu seçilim baskıları oluşturmaktadır. Bu çalışma, ekstrem koşullarda ortaya çıkan uyum süreçlerini ve dayanıklılık mekanizmalarını evrimsel ekoloji perspektifinde değerlendiren nitel bir literatür derlemesidir. Bu kapsamda Google Scholar, Web of Science, Scopus ve PubMed veri tabanlarında gerçekleştirilen amaç odaklı taramalarla elde edilen çalışmalar; moleküler ve hücresel stres yanıtları, fenotipik plastisite, genetik çeşitlilik, evrimsel yanıt kapasitesi ve ekosistem dayanıklılığı temaları çerçevesinde sentezlenmiştir. Literatür bulguları, ekstrem stresörlere verilen yanıtların çoğunlukla tekil gen mutasyonlarından ziyade yatay gen transferi, gen düzenleyici ağlar ve bütünleşik hücresel mekanizmalar üzerinden şekillendiğini göstermektedir. Uyum süreçleri; ısı-şok proteinleri ve şaperon sistemleri aracılığıyla protein stabilitesinin korunmasını, DNA bütünlüğünü destekleyen onarım mekanizmalarını, membran akışkanlığının lipid kompozisyonu üzerinden düzenlenmesini ve hipersalin ortamlarda trehaloz ile glisin betain gibi uyumlu çözünenlerin biriktirilmesini kapsamaktadır. Ancak bu yanıtlar yüksek enerji maliyetleri doğurmakta; homeostaz, proteostaz ve ozmotik dengenin sürdürülmesi için ayrılan enerji, büyüme, gelişme ve üreme gibi temel yaşam öyküsü bileşenleriyle belirgin ödünleşimlere yol açmaktadır. Kısa vadede fenotipik plastisite organizmalara çevresel dalgalanmalar karşısında önemli bir tamponlama kapasitesi sağlasa da, ani ve şiddetli ekstrem olaylar karşısında bu kapasitenin sınırları ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle popülasyonların uzun vadeli kalıcılığı; ayakta duran genetik varyasyonun varlığına, gen akışına, darboğaz etkilerini aşabilme gücüne ve hızlı evrimsel yanıt geliştirme potansiyeline bağlıdır. Ekosistem düzeyinde dayanıklılık ise yalnızca türlerin fiziksel direnciyle açıklanamaz; direnç, telafi ve toparlanma süreçlerinin bütüncül biçimde işlemesine bağlıdır. Özellikle çok trofik ağların karmaşıklığı, çevresel şoklara karşı ekosistem yanıtının temel belirleyicilerindendir. Sonuç olarak, ekstrem ortamların korunmasında türlerin evrimsel uyum potansiyelini, genetik çeşitliliğini, stres

toleransını ve ekosistem düzeyindeki etkileşim ağlarını birlikte ele alan dinamik ve bütüncül koruma stratejilerine ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: Biyoçeşitlilik, Fenotipik plastisite, Genetik varyasyon, Trofik ağlar

Abstract

Extreme environments are unique ecosystems that challenge the physiological tolerance limits, life-history strategies, and ecological continuity of organisms, encompassing not only natural habitats such as hydrothermal vents, polar regions, and hypersaline lakes, but also anthropogenic stress zones shaped by heavy metal pollution, pesticide loads, urban heat islands, and radiation contamination. Global climate change, habitat fragmentation, and increasing anthropogenic pressure impose on organisms inhabiting these environments not only gradual environmental changes, but also multidimensional selective pressures through unpredictable and often mutually reinforcing extreme climatic events such as droughts, heat waves, flash floods, and wildfires. This study is a qualitative literature review that evaluates the adaptation processes and resilience mechanisms emerging under extreme conditions from the perspective of evolutionary ecology. Within this scope, studies retrieved through purpose-oriented searches conducted in the Google Scholar, Web of Science, Scopus, and PubMed databases were synthesized within the thematic framework of molecular and cellular stress responses, phenotypic plasticity, genetic diversity, evolutionary response capacity, and ecosystem resilience. The literature indicates that responses to extreme stressors are shaped predominantly not by single-gene mutations, but by horizontal gene transfer, gene regulatory networks, and integrated cellular mechanisms. These adaptive processes include the maintenance of protein stability through heat-shock proteins and chaperone systems, DNA repair mechanisms that preserve genomic integrity, the regulation of membrane fluidity through lipid composition, and the accumulation of compatible solutes such as trehalose and glycine betaine in hypersaline environments. However, these responses impose high energetic costs, and the energy allocated to maintaining homeostasis, proteostasis, and osmotic balance leads to significant trade-offs with fundamental life-history components such as growth, development, and reproduction. Although phenotypic plasticity provides organisms with an important buffering capacity against short-term environmental fluctuations, the limits of this capacity may become evident under sudden and severe extreme events. Therefore, the long-term persistence of populations depends on the presence of standing genetic variation, gene flow, the ability to overcome bottleneck effects, and the potential to generate rapid evolutionary responses. At the ecosystem level, resilience cannot be explained solely by the physical resistance of species; rather, it depends on the integrated functioning of resistance, compensation, and recovery processes. In particular, the complexity of multitrophic networks is one of the principal determinants of ecosystem responses to environmental shocks. In conclusion, the conservation of extreme environments requires dynamic and holistic strategies that simultaneously address the evolutionary adaptive potential, genetic diversity, stress tolerance, and ecosystem-level interaction networks of species.

Keywords: Biodiversity, Genetic variation, Phenotypic plasticity, Trophic networks

MIKROPLASTIK KIRLILIĞININ EPIGENETIK ETKILERI VE BIYOREMEDIASYON

EPIGENETIC EFFECTS OF MICROPLASTIC POLLUTION AND BIOREMEDIATION

Asude DURMAZ[1], Filiz ÖZBAŞ GERÇEKER[2]

[1] Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0003-3506-4661

[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0003-1243-5880

Özet

Mikroplastikler, 1950'li yıllarda plastik üretiminin yaygınlaşmasıyla ortaya çıkan, 5 mm'den küçük sentetik polimer parçacıklarıdır. Ambalaj, tekstil, tıbbi malzemeler ve tüketim mallarındaki yoğun kullanımı sonucunda denizler, su kaynakları ve toprak yoluyla çevreye yayılmışlardır. Bu parçacıklar içme suyu, besin zinciri ve solunum yoluyla canlı organizmalara girerek gen ifadesini dolaylı yollardan etkilemektedir. Epigenetik, DNA dizisinde kalıtsal bir değişiklik olmaksızın gen ekspresyonunda meydana gelen kalıcı modifikasyonları ifade eder. Mikroplastikler, epigenetik mekanizmaları üç temel yolla etkilemektedir. İlki DNA metilasyonu ve histon modifikasyonudur. Mikroplastik maruziyeti, özellikle gelişim ve immüniteyle ilişkili genlerin promotor bölgelerinde hipermetilasyona yol açarak organizmanın çevresel streslere karşı direncini azaltmaktadır. İkincisi, transjenerasyonel (nesiller arası) etkilerdir. Ebeveyn organizmada oluşan epigenetik değişiklikler yavru ve torun nesillere aktarılabilmektedir. Üçüncüsü ise plastik katkı maddelerinden kaynaklanan endokrin bozucu kimyasallar etkisidir. Bisfenol A ve ftalatlar gibi bileşikler, üreme ve tiroid hormon yolaklarını epigenetik düzeyde bozarak hormonal dengesizliklere neden olmaktadır. Zebra balığı modellerinde yapılan çalışmalar bu bağlantıyı desteklemektedir. Mikroplastik kirliliğinin fiziksel yöntemlerle uzaklaştırılması pratik olmadığından biyoremediasyon giderek önem kazanmaktadır. Bazı bakteri ve mantar türleri plastik polimerleri parçalayabilmekte, laboratuvar koşullarında üretilen enzimler parçalanmayı hızlandırmakta, belirli alg türleri mikroplastikleri adsorbe ederek ortamdan uzaklaştırmakta ve bazı hayvanlar plastikle beslenebilmektedir. Gelecekte bu biyolojik süreçlerin ölçeklendirilmesiyle etkin temizleme sistemlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Sonuç olarak mikroplastikler, yalnızca fiziksel bir kirletici olmanın ötesinde epigenetik mekanizmaları bozarak nesiller boyu sağlık riskleri oluşturmaktadır. Bu etkileri minimize etmek için plastik kullanımının azaltılması, geri dönüştürülebilir alternatiflerin yaygınlaştırılması ve biyoremediasyon teknolojilerinin geliştirilmesi kritik öneme sahiptir.

Anahtar kelimeler: Mikroplastik, Epigenetik, Biyoremediasyon

Abstract

Microplastics are synthetic polymer particles smaller than 5 mm that emerged with the widespread use of plastic production in the 1950s. Due to their intensive use in packaging, textiles, medical materials, and consumer goods, they have spread into the environment, particularly into oceans, water bodies, and soil. These particles enter living organisms through drinking water, the food chain, and the respiratory tract, thereby indirectly affecting gene expression. Epigenetics refers to heritable modifications in gene expression that occur without any change in the DNA sequence. Microplastics influence epigenetic mechanisms through three main pathways. The first is DNA methylation and histone modification. Exposure to microplastics leads to hypermethylation in the promoter regions of genes associated with development and immunity, reducing the organism's resistance to environmental stressors. The second is transgenerational effects**.** Epigenetic changes occurring in the parent organism can be transmitted to offspring and subsequent generations. The third is the effect of endocrine-disrupting chemicals originating from plastic additives. Compounds such as Bisphenol A and phthalates disrupt reproductive and thyroid hormone pathways at the epigenetic level, leading to hormonal imbalances. Studies on zebrafish models support this relationship. Since the physical removal of microplastic pollution from the environment is not practical, bioremediation has gained increasing importance. Certain bacteria and fungi can degrade plastic polymers, enzymes produced under laboratory conditions can accelerate degradation, specific algae species can adsorb microplastics and remove them from the environment, and some animals are capable of consuming plastics. In the future, scaling up these biological processes to develop effective large-scale cleaning systems is anticipated. In conclusion, microplastics are no longer merely physical pollutants; they disrupt epigenetic mechanisms and pose long-term health risks across generations. To minimize these effects, reducing plastic consumption, promoting the use of recyclable alternatives, and advancing bioremediation technologies are of critical importance.

Keywords: Microplastics, Epigenetics, Bioremediation

BURKİNA FASO ÜLKESİNDE YETİŞEN TIBBI BITKILER

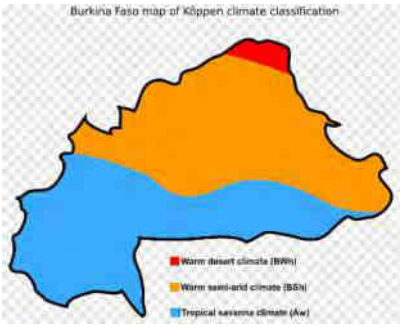
[1]Sallahoudinne KONATE, Mehmet OZASLAN [2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0001-8911-1457

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9380-4902

Giriş

Burkina Faso, zengin biyoçeşitliliği ve köklü etnobotanik gelenekleriyle öne çıkan bir Batı Afrika ülkesidir. Geleneksel tıp, ülkenin sağlık sisteminin önemli bir parçası olup, bitkisel ilaçlar çeşitli hastalıkların tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Burkina Faso florasında yer alan ve geleneksel tıpta kullanılan tıbbi bitkilerin etnobotanik kullanımları, ve farmakolojik aktiviteleri derlenerek özet halinde sunulmuştur. Araştırma, bu bitkilerin potansiyelini ortaya koyarak, sürdürülebilir kullanım ve modern ilaç geliştirme süreçlerine katkı sağlamayı amaçlamaktadır..



Materyal ve Yöntem

Burkina Faso tıbbi bitkileri üzerine yapılmış bilimsel literatürün kapsamlı bir derlemesine dayanmaktadır. Literatür taraması, PubMed, ScienceDirect, ResearchGate gibi akademik veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir bitki türünün Burkina Faso'daki varlığı, geleneksel kullanımları, fitokimyasal bileşenleri ve farmakolojik aktiviteleri bu kınuda yapılan araştırmalar ile doğrulanmıştır.Bu çalışma tamamen literatur çalışması niteliğinde olup mevcut yayınların uluslararsı indekslerden taranmasıyla yapılmıştır..

Bulgular

Bu çalışma sonunda BURKINA FASO ekolojisinde 100 civarında tıbbi bitkinin raporlandığı saptanmıştır. Bu bitkilerden özellikle 50'den fazlasının Burkina Faso'da aygın

olarak yetiştiği ve geleneksel tıpta aktif olarak kullanıldığı doğrulanmıştır. Bu bitkilerin ; Fabaceae,

Combretaceae, Euphorbiaceae, Lamiaceae, Rubiaceae, Malvaceae, Anacardiaceae,

Meliaceae, Apocynaceae ve Capparaceae familyaları gibi çeşitli bitki familyalarına bağlıolduğu görülmüştür. Bitkilerin başlıca kullanım alanları arasında sıtma, karaciğer hastalıkları, kanser, enflamasyon, gastrointestinal rahatsızlıklar, paraziter enfeksiyonlar, yara tedavisi ve romatizmal hastalıklar bulunmaktadır. Bu çalışmada ülkede en yaygın olan bir kaç tane bitkiye ait resim aşağıda verilmektedir.

Bu bitkilerin alkaloidler, flavonoidler, tanenler, saponinler, terpenoidler ve fenolik bileşikler gibi biyoaktif maddeler açısından zengin olduğu rapor edilmektedir. Farmakolojik çalışmalar ise antioksidan, antimikrobiyal, antiplazmodial, hepatoprotektif, antienflamatuar ve antikanser gibi çeşitli önemli aktiviteleri üzerine yoğunlaşmaktadır.

Bu sonuçlar bize BURKINA FASO ekolojisnin tıbbi bitkiler açısından oldukça zengin ve yeni araştırmalara açık olduğunu ortaya koymaktadır.

Demirhindi ağacı maunu **Baobab Menekşe ağacı** **Karite (shea) Afrika**

Tartışma

Burkina Faso'nun tıbbi bitki çeşitliliği, geleneksel tıp uygulamaları için güçlü bir temel oluşturmaktadır. Bu bitkilerin zengin fitokimyasal içeriği ve geniş farmakolojik aktivite yelpazesi, modern ilaç keşfi için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Ancak, iklim değişikliği, aşırı otlatma ve tarımsal genişleme gibi faktörler, bu değerli bitki kaynaklarını tehdit

etmektedir. Sürdürülebilir hasat yöntemleri, koruma programları ve yerel toplulukların bilinçlendirilmesi, bu biyoçeşitliliğin gelecek nesillere aktarılması için hayati öneme sahiptir.

Sonuç

Bu çalışma, Burkina Faso'nun tıbbi bitkilerinin etnobotanik, fitokimyasal ve farmakolojik açıdan zenginliğini vurgulamaktadır. Bu bitkilerin potansiyelinden tam olarak yararlanmak için daha fazla bilimsel araştırma, ve klinik deney yapılması gerekmektedir. Geleneksel bilginin korunması ve modern bilimle entegrasyonu, hem yerel sağlık hizmetlerini iyileştirecek hem de küresel ilaç endüstrisine yeni ufuklar açacaktır.

Referanslar

1. Zizka, A., et al. (2015). Traditional plant use in Burkina Faso (West Africa): A nationalscale analysis with focus on traditional medicine. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 11(1), 9. [

2. Keita, I., et al. (2024). Assessment of Tamarindus indica L. stands in the forest areas of Kuinima and Dindéresso in Western Burkina Faso. International Journal of Biology and Chemistry Sciences.

3. Bondé, L., et al. (2018). Allometric models to estimate foliage biomass of Tamarindus indica in Burkina Faso. Southern Forests: a Journal of Forest Science, 80(2), 167-175.

4. Odounharo, O. G. R., et al. (2022). Medicinal use patterns of Parkia biglobosa (Jacq.) Benth. and Vitellaria paradoxa (Gaertn. F), two important traditional agroforestry species in Benin, West-Africa. Advances in Traditional Medicine, 22(3), 485-497.

5. Coulibaly-Lingani, P. (2023). Vulnérabilité des Produits Forestiers non Ligneux 'Vitellaria Paradoxa' et 'Parkia Biglobosa' au Burkina Faso. Une Évaluation des Perceptions de la Population. European Scientific Journal, 19(15).

ERZİNCAN İLİNDEN TOPLANAN *Erythraeus* (ACARI: ERYTHRAEIDAE) TÜRLERİNİN HABİTAT TERCİHLERİ VE EKOLOJİK DEĞERLENDİRMESİ

HABITAT PREFERENCES AND ECOLOGICAL ASSESSMENT OF *Erythraeus* (ACARI: ERYTHRAEIDAE) SPECIES FROM ERZİNCAN PROVINCE, TÜRKİYE

Çağrı BALCI[1], Kader KUŞ[2], Sevgi SEVSAY[3]

[1]Çayırlı Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye, Orcid; 0000-0002-0230-7845

[2]Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Erzincan Binali Yıldırım University, Üniversitesi, Türkiye, Orcid; 0000-0001-8428-5610

[3]Biyoloji Bölümü Fen Edebiyat Fakültesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye. Orcid; 0000-0002-6380-5629

Özet

Erythraeus Latreille, 1806, Erythraeidae (Acari: Prostigmata) familyasının Erythraeinae altfamilyasına ait olup iki altcins (*Erythraeus* ve *Zaracarus* Southcott, 1995) içermektedir. Bu cins iki çift mercekli gözü ve uzun bacakları olan (birinci ve dördüncü bacak çiftleri genellikle vücuttan daha uzundur) büyük kahverengi akarlardır. Biyolojik mücadele açısından oldukça önemli olan bu akarlar, özellikle yumurta ve küçük arthropodlarla beslenmeleri nedeniyle tarımsal ekosistemlerde yararlı organizmalar arasında değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, Erzincan ili Çayırlı ilçesinin farklı rakım ve habitat tiplerinden 2023–2025 yılları arasında berlese hunisi, çukur tuzak ve malaise tuzağı yöntemleriyle toplanan *Erythraeus* örneklerinin habitat tercihleri ve ekolojik dağılımları değerlendirilmiştir. Toplam 8 tür tespit edilmiş olup bunlardan 5'i *Erythraeus* altcinsine [*E. (Z.) adpendiculatus*, *E. (E.) cinereus*, *E. (E.) phalangioides*, *E. (E.) regalis* (14 ergin), *E. (E.) rupestris*], 3'ü ise *Zaracarus* altcinsine [*E. (Z.) budapestiensis*, *E. (Z.) coleopterus*, *E. (Z.) kastanensis*] aittir. Örnekler 1380–2690 m rakım aralığında, dağlık/alpin, orman ve vadi olmak üzere üç ana habitat tipinden toplanmıştır. *Erythraeus* altcinsine ait ergin bireyler ağırlıklı olarak orman tabanı (yaprak döküntüsü, yosunlu toprak) ve dağlık alanlardaki geven altı döküntülerden toplanırken, *Zaracarus* altcinsine ait larvalar yüksek rakımlı (2324 m) baraj kenarı ve su kenarı habitatlarından elde edilmiştir. En yüksek birey sayısına sahip tür *E. (Z.) coleopterus* (%12,6) olup hem Berlese hem çukur tuzak yöntemiyle tespit edilmiştir. *E. (E.) regalis* ve *E. (E.) rupestris* ise en geniş habitat yayılışına sahip türler olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, *Erythraeus* cinsinin çalışma alanında gözlenen habitat çeşitliliğiyle yakından ilişkili olduğunu göstermekte; Doğu Anadolu'nun ise bu cins için hem tür çeşitliliği hem de yayılış örüntüsü bakımından önemli bir merkez niteliği taşıdığını ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, Türkiye Bilim ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından [124Z542 numaralı proje] desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Anahtar kelimeler: Erythraeoidea, Ekoloji, Erzincan, Parasitengona, Türkiye

Abstract

Erythraeus Latreille, 1806, belongs to the subfamily Erythraeinae of the family Erythraeidae (Acari: Prostigmata) and includes two subgenera (*Erythraeus* and *Zaracarus* Southcott, 1995). This genus comprises large, brown mites with two pairs of lensed eyes and long legs (the first and fourth leg pairs are generally longer than the body). These mites are highly important for biological control and are regarded among the beneficial organisms in agricultural ecosystems, particularly because they feed on eggs and small arthropods. In this study, the habitat preferences and ecological distributions of *Erythraeus* specimens collected between 2023 and 2025 by means of Berlese funnel, pitfall trap, and Malaise trap methods from different altitudes and habitat types in the Çayırlı district of Erzincan province were evaluated. A total of 8 species were identified, of which 5 belong to the subgenus *Erythraeus* [*E. (E.) adpendiculatus*, *E. (E.) cinereus*, *E. (E.) phalangioides*, *E. (E.) regalis* (14 adults), *E. (E.) rupestris*] and 3 to the subgenus *Zaracarus* [*E. (Z.) budapestiensis*, *E. (Z.) coleopterus*, *E. (Z.) kastanensis*]. Specimens were collected within an altitudinal range of 1380–2690 m from three main habitat types: mountainous/alpine, forest, and valley. Adult individuals of the subgenus *Erythraeus* were predominantly obtained from forest-floor habitats (leaf litter, mossy soil) and from litter beneath *Astragalus* (geven) cushions in mountainous areas, whereas larvae of the subgenus *Zaracarus* were collected from high-altitude (2324 m) reservoir-edge and waterside habitats. The species with the highest number of individuals was *E. (Z.) coleopterus* (12.6%), recorded by both Berlese funnel and pitfall trap methods. *E. (E.) regalis* and *E. (E.) rupestris* were found to have the widest habitat distribution. The results obtained indicate that the genus *Erythraeus* is closely linked to the habitat diversity observed in the study area, and demonstrate that Eastern Anatolia constitutes an important center for this genus in terms of both species richness and distribution patterns.

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) [Project No. 124Z542]. The authors thank TÜBİTAK for their support.

Keywords: Erythraeoidea, Ecology, Erzincan, Parasitengona, Türkiye

STRESE UYUM STRATEJILERİ: GENEL ADAPTASYON SENDROMU
STRESS COPING STRATEGIES: GENERAL ADAPTATION SYNDROME

Serhat DEMIREL[1],Demet DOGAN[2]

[1,2]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Özet

Stres, homeostazi bozan her türlü içsel veya dışsal uyaran olarak tanımlanır ve organizmalarin dengeyi yeniden sağlamak için karmaşık nöroendokrin, metabolik, immünolojik ve davranissal mekanizmaları harekete geçirmesine yol açar. Hans Selye'nin Genel Adaptasyon Sendromu (GAS),alarm, direnç ve tükenme evrelerini tanımlayan temel bir çerçeve olarak önemini korumaktadir.Güncel araştirmalar ise bu modeli birincil, ikincil ve üçüncül yanıtlar şeklinde daha ayrıntılı biçimde ele almaktadır. Birincil yanıtlar, hipotalamus-hipofiz-adrenal ekseni ve sempatik sinir sisteminin hizl aktivasyonu ile katekolamin ve kortizol salınımını içerir; bu süreç kardiyovasküler düzenlemeler, glikoz mobilizasyonu ve akut immün modülasyon sağlar. İkincil yanıtlar, uzun süreli endokrin geri bildirim, metabolik yeniden yapılanma ve adaptif immün düzenlemeler (örneğin sitokin sinyalleşmesi ve lökosit dağılımı) ile dayanıklılığı sürdürür. Üçüncül yanıtlar ise büyüme bozuklukları, üreme baskılanması ve popülasyon dinamiklerinde değişiklikler gibi kronik stresin uzun vadeli sonuçlarını yansıtır. Hücresel düzeyde, proteostaz mekanizmaları, antioksidan savunmalar ve transkripsiyonel yeniden programlama proteotoksik ve oksidatif hasari azaltarak adaptif yeniden yapılanmayı düzenler. Kaçınma, aktivite ritimlerinde değişiklik ve sosyal davranışların modifikasyonu gibi davranışsal stratejiler, sistemik ve moleküler süreçleri tamamlayarak uyumun bütüncül doğasini ortaya koyar. Omurgalılardan omurgasızlara kadar farkli taksonlardan elde edilen kanıtlar, stres adaptasyonunun doğrusal değil; nöroendokrin kaskatlar,metabolik yollar, immün yanıtlar ve hücresel dayanıklılığın dinamik etkileşimi olduğunu göstermektedir. Bu sentez, GAS'ın geçerliliğini yeniden teyit ederken kapsamının genişlediğini vurgulamakta; stres yanıtlarının kapsamlı anlaşılmasının dayanıklılık ve adaptasyon üzerine kritik içgörüler sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu bilgi, sağlık bilimleri, akuakültür ve çevre biyolojisi icin translasyonel değer taşımakta; organizmaların stres altında nasıl hayatta kaldığını, uyum sağladığını ve geliştiğini aydınlatmaktadır.

Anahtar kelimeler: Homeostaz, Nöroendokrin Aktivasyon, Kortizol Düzenlenmesi, Metabolik Yeniden Yapilanma

Abstract

Stress is defined as any internal or external stimulus that perturbs homeostasis,activating complex neuroendocrine, metabolic, immunological, and behavioral mechanisms to restore equilibrium.Hans Selye's General Adaptation Syndrome (GAS) remains a seminal framework, describing alarm,resistance, and exhaustion phases, yet contemporary research refines this model by distinguishing primary, secondary, and tertiary responses. Primary responses involve rapid activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and sympathetic nervouas system, leading to catecholamine and cortisol release that drive immediate cardiovascular adjustments, glucose mobilization, and acute immune modulation. Secondary responses sustain resilience through prolonged endocrine feedback,metabolic reorganization, and adaptive immune regulation, including cytokine signaling and leukocyte redistribution. Tertiary responses represent long-term consequences such as impaired growth,reproductive suppression, and altered population dynamics,reflecting the cumulative burden of chronic stress. At the cellular level, induction of heat shock proteins, antioxidant defenses, and proteostasis mechanisms mitigate proteotoxic and oxidative damage, while transcriptional reprogramming orchestrates adaptive restructuring. Behavioral strategies, including avoidance,altered activity rhythms, and social modifications, complement systemic and molecular processes,underscoring the integrative nature of coping. Evidence across taxa, from vertebrates to invertebrates,demonstrates that stress adaptation is not linear but a dynamic interplay of neuroendocrine cascades,metabolic pathways, immune responses, and cellular resilience. This synthesis reaffirms the relevance of GAS while emphasizing its expanded scope, concluding that a comprehensive understanding of stress responses provides critical insights into resilience and adaptation. Such knowledge holds translational value for health sciences, aquaculture, and environmental biology, illuminating the pathways through which organisms endure, adjust, and ultimately thrive under stress.

Keywords: Homeostasis, neuroendocrine activation, cortisol regulation,metabolic reorganization

MAVİ DÜNYADA TEHLİKE ÇANLARI: İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN AKUATİK ORTAMLARA YANSIMALARI

ALARM BELLS IN THE BLUE WORLD: CLIMATE CHANGE IMPACTS ON AQUATIC ENVIRONMENTS

İbrahim Turgay CAN [1], Demet DOĞAN[2]

[1,2]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Özet

İklim değişikliği, mavi dünyada yankılanan güçlü tehlike çanlarıyla kendini göstermekte ve akuatik ekosistemleri birbirine bağlı fiziksel, kimyasal, biyolojik ve sosyo-ekonomik süreçler aracılığıyla köklü biçimde dönüştürmektedir. Özellikle küresel ortalamalardan daha hızlı ısınan Akdeniz'de yükselen su sıcaklıkları tabakalaşmayı artırmakta, çözünmüş oksijen miktarını azaltmakta ve besin döngülerini bozarak ekosistem işleyişini zayıflatmaktadır. Atmosferdeki yüksek karbondioksit seviyelerinin yol açtığı okyanus asitlenmesi ise karbonat kimyasını değiştirerek kalsifiye organizmaların yaşamını tehdit etmektedir. Bu stres faktörleri ekolojik toplulukları yeniden yapılandırmakta; termofilik türler avantaj sağlarken soğuğa uyumlu ve endemik türler gerilemekte, böylece biyolojik çeşitlilik kaybı hızlanmakta ve patojenlerin yayılımı kolaylaşmaktadır. Tatlı su sistemleri de benzer şekilde akış azalması, tuzluluk artışı ve su kalitesinin bozulması gibi sorunlarla karşı karşıya kalarak ekosistem istikrarını daha da zayıflatmaktadır. Yükselen sıcaklıklar ve hipoksi akuakültür ile balıkçılığı doğrudan etkilemekte; büyüme hızını, yem verimliliğini ve hastalıklara karşı direnci azaltırken, azalan stoklar ve değişen göç desenleri geleneksel uygulamaları istikrarsızlaştırmakta ve sıcaklığa dayanıklı türlere yönelimi zorunlu kılmaktadır. Bu biyolojik bozulmalar sosyo-ekonomik sonuçlara dönüşerek gıda güvenliğini, geçim kaynaklarını ve kıyı topluluklarının sürdürülebilirliğini ciddi biçimde tehlikeye atmaktadır. Türler ve bölgeler arası kanıtlar, akuatik ekosistemlerin iklim değişikliğinin pasif kurbanları değil, karmaşık fizyolojik düzenleme, metabolik yeniden yapılanma, bağışıklık modülasyonu ve davranışsal adaptasyonlarla dinamik yanıt vericileri olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, akuatik sistemlerin direnci insan toplumlarının direncinden ayrı düşünülemez; mavi dünyayı korumak için karbon emisyonlarının azaltılması, uyumlu akuakültür uygulamaları, ekosistem temelli yönetim ve biyolojik çeşitliliğin korunmasını birleştiren bütüncül stratejiler geliştirilmesi zorunludur.

Anahtar kelimeler: Küresel ısınma, Biyoçeşitlilik kaybı, Okyanus asitlenmesi, Hipoksi

Abstract

Climate change is sounding alarm bells across the blue world, profoundly reshaping aquatic ecosystems through interconnected physical, chemical, biological, and socio-economic pathways. Rising water temperatures, especially in the Mediterranean, which warms faster than global averages, intensify stratification, reduce oxygen availability, and disrupt nutrient dynamics, while ocean acidification driven by elevated atmospheric CO_2 alters carbonate chemistry and threatens calcifying organisms. These stressors restructure ecological communities, favoring thermophilic species while marginalizing cold-adapted and endemic populations, accelerating biodiversity loss and facilitating pathogen proliferation. Freshwater systems face parallel challenges, including reduced flows, salinity intrusions, and compromised water quality, further undermining ecosystem stability. Aquaculture and fisheries are directly impacted as elevated temperatures and hypoxia impair growth, feed efficiency, and disease resistance, while declining wild stocks and altered migration patterns destabilize traditional practices and necessitate adaptation toward warm-tolerant species. These biological disruptions cascade into socio-economic consequences, jeopardizing food security, livelihoods, and the sustainability of coastal communities that depend on aquatic resources. Evidence across taxa and regions underscores that aquatic ecosystems are dynamic responders rather than passive victims of climate change, exhibiting complex interactions among physiological regulation, metabolic reorganization, immune modulation, and behavioral adaptation. Ultimately, the resilience of aquatic systems is inseparable from the resilience of human societies, and safeguarding the blue world in the Anthropocene demands integrated strategies that combine aggressive carbon emission reductions with adaptive aquaculture practices, ecosystem-based management, and biodiversity conservation to secure ecosystem services and human well-being against accelerating global change.

Keywords: Global warming, Biodiversity loss, ocean acidification, hypoxia

ONARICI TARIMDA MİKORİZAL SİMBİYOZUN ÖNEMİ

THE IMPORTANCE OF MYCORRHIZAL SYMBIOSIS IN REJENERATIVE AGRICULTURE

Lobaba KHOJA[1], Berna Baş[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye

[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0000-0003-2455-2849

Özet

Günümüz tarımsal üretim stratejileri, sadece birim alandan alınan verimi artırmayı değil, aynı zamanda dejenere olan toprak ekosistemlerini onarmayı hedefleyen "Rejeneratif (Onarıcı) Tarım" modeline evrilmektedir. Geleneksel yoğun tarım uygulamalarının (aşırı kimyasal gübreleme ve yoğun toprak işleme) yol açtığı toprak çoraklaşması ve biyoçeşitlilik kaybı, tarımsal sürdürülebilirliği tehdit eden en büyük unsurlardır. Bu bağlamda, toprak verimliliğinin temel taşlarından, toprağın fiziksel veya kimyasal yapısı kadar toprak mikrobiyolojisi de önem taşımaktadır. Toprak sağlığı ile tarımsal verimlilik arasındaki kopmaz bağın merkezinde, bitki kökleri ile simbiyotik bir yaşam kuran mikorizal mantarlar yer almaktadır. Mikorizal simbiyoz; klasik bir kök-mantar iş-birliğinin ötesinde, toprağın "biyolojik bir reaktör" gibi çalışmasını sağlayan bir sistemdir. "Toprak iyileşirse tarım iyileşir" prensibine dayalı olarak; mikorizal mikroorganizmaların kullanımı, toprağın sadece besin içeriğini değil, aynı zamanda agregat stabilitesini, su tutma kapasitesini ve karbon tutma potansiyelini de iyileştirecektir.

Modern tarımda mikorizal mantarlar, sentetik girdilere olan bağımlılığı azaltan, toprağın doğal rejenerasyon mekanizmalarını tetikleyen ve bitki besleme stratejilerini "mikrobiyal odaklı" hale getiren biyolojik araçlardan biridir. Çeşitli araştırma çalışmaları, mikorizal popülasyonu yüksek olan topraklarda agregat stabilitesinin (toprağın dağılmaya karşı direnci) %40 ile %60 oranında daha fazla olduğunu ve bunun sonucunda bitki biyokütlesinde sentetik gübre artışından bağımsız olarak %25'lik bir doğal verim artışı sağlandığını göstermiştir Toprağın mikrobiyal aktivitesinin artırılması bitkinin stres toleransını yükseltirken, toprağın uzun vadeli üretim kapasitesini korumasını sağlamaktadır. Mikorizal simbiyoz, modern tarımın karşılaştığı iklim değişimine bağlı kuraklık artışı, toprak verimsizliği, azalan su kaynakları ve çevre kirliliği gibi sorunlara karşı en güçlü biyolojik çözümlerden olup toprak sağlığının restorasyonu ve sürdürülebilir gıda üretimi için mikorizal teknolojilerin kullanımı kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, mikorizal simbiyozun toprağın biyolojik kalitesinin ıslahı ve bunun sonucu olarak tarımsal ekosistemlerin dayanıklılığı üzerindeki doğrudan etkilerini ele almaktadır.

Anahtar kelimeler: Onarıcı tarım, mikorizal funguslar, toprak sağlığı

Abstract

Current agricultural production strategies are evolving towards a "Regenerative Agriculture" model that aims not only to increase yield per unit area but also to repair degenerated soil ecosystems. Soil degradation and biodiversity loss caused by traditional intensive farming practices (excessive chemical fertilization and intensive tillage) are the biggest threats to agricultural sustainability. In this context, soil microbiology is as important as the physical or chemical structure of the soil, which is one of the cornerstones of soil fertility. At the heart of the unbreakable link between soil health and agricultural productivity are mycorrhizal fungi that establish a symbiotic relationship with plant roots. Mycorrhizal symbiosis is a system that goes beyond a classic root-fungus collaboration, enabling the soil to function like a "biological reactor." Based on the principle that "if the soil improves, agriculture improves," the use of mycorrhizal microorganisms will improve not only the nutrient content of the soil but also its aggregate stability, water retention capacity, and carbon sequestration potential.

In modern agriculture, mycorrhizal fungi are one of the biological tools that reduce dependence on synthetic inputs, trigger the soil's natural regeneration mechanisms, and make plant nutrition strategies "microbial-focused". Various research studies have shown that soils with high mycorrhizal populations have 40% to 60% greater aggregate stability (soil resistance to disintegration), resulting in a 25% natural yield increase in plant biomass, independent of increased synthetic fertilizer use. Increasing the microbial activity of the soil enhances plant stress tolerance while ensuring the preservation of the soil's long-term production capacity. Mycorrhizal symbiosis is one of the most powerful biological solutions to the problems faced by modern agriculture, such as increased drought due to climate change, soil infertility, dwindling water resources, and environmental pollution. The suitability and implication of mycorrhizal technologies for improving agricultural land productivity is critical for restoring soil health and sustainable food production. This study addresses the direct effects of mycorrhizal symbiosis on the improvement of soil biological quality and, consequently, the resilience of agricultural ecosystems.

Keywords: Regenerative agriculture, mycorrhizal fungi, soil health

Isparta Merkezinde Kaya Güvercinin (*Columba livia* Gmelin, 1789) Biyolojisi

Cafer MURAT[*1], Mehmet Ali TABUR[2]

[1]Isparta Halıkent Anadolu Lisesi, Isparta, Türkiye

[2]Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimler Fakültesi Biyoloji Bölümü Isparta, Türkiye

Özet: Kuşlarla insanların habitat paylaşımı uzun bir geçmişe dayanmaktadır. Omurgalı sınıfları içinde Aves ekolojik, ekonomik ve bilimsel öneme sahiptir. Ülkemiz gerek göç yollarını barındırması gerekse kuşların biyolojik ihtiyaçlarını karşılaması açısından zengin bir avifaunaya sahiptir. Günümüzde tür kayıplarının antropojenik etkilerden fazlaca etkilendiği görülmektedir. Bundan dolayı yerleşkelere yakın yerlerde yaşayan ve tehlike altında olmadan varlıklarını sürdüren türlerin biyolojisinin bilinmesi koruma biyolojisi açısından önemlidir. Lokasyonlar belirlenirken türün gözlendiği farklı ekolojik özelliklere sahip olmasına dikkat edilmiştir. Isparta merkeze bağlı Süleyman Demirel Üniversitesi (SDÜ) kampüs alanı, Aliköy civarı, Deregümü Köyü civarı, Ayazmana mesireliği olmak üzere dört istasyonda sayım ve gözlemler gerçekleştirilmiştir. Belli periyotta her lokasyonda nokta sayım metodu uygulanmış dürbün, teleskop ve fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Araştırmada türün; ekolojisi, popülasyonun büyüklüğü, beslenme ve barınma alanları, üreme başarısı, intra ve interspesifik ilişkiler, insanlarla etkileşimleri ve beslenme alışkanlıkları incelenmiştir. Dört istasyonda yumurtalama oranı %68,42 ve kuluçka süresinin ortalama 18,42 gün olduğu belirlenmiştir. Türün; mevsime bağlı bireysel ve grup halinde beslendiği, şehir merkezi ve kırsal alanları beslenme, barınma ve üreme amaçlı kullandığı, şehir yaşamına uyum sağladığı ve antropojenik etkilerden sınırlı ölçüde etkilendiği gözlenmiştir. Bu çalışmanın; yerleşim birimlerinde ve yakın çevresinde yaşayan günümüzde tehdit altında olmayan ancak yaşanan gelişmelere bağlı olarak ileriki zamanda ne olacağı bilinmeyen türlerin korunması ve nesillerini devam ettirebilmesi açısından fayda sağlayacağın beklenmektedir.

Anahtar Kelimler: Kuşlar, Kaya Güvercini, Columba livia, Tür biyolojisi.

TÜRKİYE'DEN *Curterıa Epıscopalıs* (C. L. KOCH, 1837) (ACARI: ERYTHRAEIDAE) TÜRÜNÜN İLK KAYDI

FIRST RECORD OF *Curterıa Epıscopalıs* (C. L. KOCH, 1837) (ACARI: ERYTHRAEIDAE) FROM TÜRKİYE

Çağrı BALCI[1], Kader KUŞ[2], Sevgi SEVSAY[3]

[1]Çayırlı Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye. Orcid: 0000-0002-0230-7845

[2]Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Bölümü, Erzincan Binali Yıldırım University, Üniversitesi, Türkiye, Orcid: 0000-0001-8428-5610

[3]Biyoloji Bölümü Fen Edebiyat Fakültesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Erzincan, Türkiye, Orcid: 0000-0002-6380-5629

Özet

Erythraeidae Robineau-Desvoidy, 1828 (Acari: Prostigmata) familyası, karasal yaşam döngüsüne sahip, tür çeşitliliği bakımından zengin ve yedi altfamilyadan oluşan bir akar grubudur. *Curteria* Southcott, 1961 cinsi, Erythraeinae altfamilyasında yer almakta olup dünya genelinde altı türe sahiptir. Türkiye'den bu cinse ait bugüne kadar iki tür, *Curteria curticristata* ve *C. duzgunesae*, bilinmektedir. Cinsin ergin ve dötonimf evreleri; krista metopikanın posterior yarısı hizasında yer alan çift mercekli gözler, basit iğne şeklinde idiosoma setaları, modifiye serrata bacak setalarının bulunmaması ve palplarda özelleşmiş koni biçimli setaların (konala) yer almaması ile karakterize edilmektedir. *Curteria episcopalis* (C. L. Koch, 1837), ilk kez Almanya'dan *Rhyncholophus episcopalis* adıyla tanımlanmış, daha sonra Gabryś (1992) tarafından *Curteria* cinsine aktarılmış ve Polonya'dan elde edilen örnekler üzerinden yeniden tanımlanmıştır. Türün ergin evresi, orta büyüklükte, oval bir vücuda sahip olup canlı halde parlak kahverengi renklidir. Duyusal olmayan AL setalarının 8–9 adet olması, dorsal opisthosomal setaların dikensi ve spiniform yapıda bulunması ile 1. tibia ve 1. genu üzerindeki vestigiaların (özelleşmiş mikroseta) yalnızca hafifçe genişlemiş olması, bu türü cinsin diğer türlerinden ayıran başlıca karakterlerdir. Bu çalışmada, 2023–2024 yılları arasında Erzincan ili Çayırlı ilçesinden toplanan çimenli toprak, ağaç altı döküntü örnekleri Berlese düzeneği kullanılarak ayıklanmış ve toplam dört serbest ergin birey tespit edilmiştir. Örnekler üç farklı lokaliteden toplanmıştır: Çataksu (2105–2108 m), Kavaklık (1980 m) ve Turnaçayırı (2324 m). Bu çalışma ile Türkiye'de daha önce iki tür ile temsil edilen *Curteria* cinsine üçüncü türü olarak *C. episcopalis* ilk kez kaydedilmiştir. Ayrıca türün ergin evresi kısaca tanımlanmış, gerekli morfolojik yapıların fotoğrafları sunulmuş ve daha önce verilen örnekler ile karşılaştırılmıştır. İlaveten habitat bilgileri ve dünyadaki yayılışı verilerek, türün bilinen coğrafi dağılışına ve ülkemiz akar biyoçeşitliliğine katkı sağlanmıştır.

Bu çalışma, Türkiye Bilim ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından [124Z542 numaralı proje] desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Anahtar kelimeler: Actinotrichida, Parasitengona, yeni kayıt, Türkiye.

Abstract

Erythraeidae Robineau-Desvoidy, 1828 (Acari: Prostigmata) is a species-rich mite family with a terrestrial life cycle, comprising seven subfamilies. The genus *Curteria* Southcott, 1961 belongs to the subfamily *Erythraeinae* and is represented by six species worldwide. To date, two species of this genus, *Curteria curticristata* and *C. duzgunesae*, have been recorded from Türkiye. The adults and deutonymphs of the genus are characterized by paired lens-like eyes situated at the level of the posterior half of the metopic crista, simple spiniform idiosomal setae, the absence of modified serrate leg setae, and the lack of specialized conical setae (conalae) on the palps. *Curteria episcopalis* (C. L. Koch, 1837) was originally described from Germany under the name *Rhyncholophus episcopalis* and was later transferred to the genus *Curteria* by Gabryś (1992), who redescribed the species based on material collected from Poland. The adult stage of the species has a medium-sized, oval body and is metallic green in life. The presence of 8–9 nonsensillary AL setae, the spinose and spiniform nature of the dorsal opisthosomal setae, and the only slightly expanded vestigialae on tibia I and genu I are the main characters distinguishing this species from the other members of the genus. In the present study, grassy soil and litter samples collected from Çayırlı district of Erzincan Province during 2023–2024 were extracted using Berlese funnels, and a total of four free-living adult specimens were obtained. The specimens were collected from three different localities: Çataksu (2105–2108 m), Kavaklık (1980 m), and Turnaçayırı (2324 m). With this study, *C. episcopalis* is recorded for the first time from Türkiye as the third species of the genus *Curteria* known from the country. In addition, the adult stage of the species is briefly described, photographs of the relevant morphological structures are provided, and comparisons are made with previously reported material. Furthermore, habitat data and the global distribution of the species are presented, thus contributing to the known geographical range of the species and to the mite biodiversity of Türkiye.

The work was supported by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TUBITAK) [number 124Z542]. We gratefully acknowledge their support.

Keywords: Actinotrichida, Parasitengona, new record, Türkiye.

CONSERVATION OF THE GREATER FLAMINGO (*Phoenicopterus roseus*) IN THE GEDIZ DELTA: POPULATION TRENDS, FEEDING ECOLOGY, ECOSYSTEM SERVICES, AND DISPERSAL DYNAMICS

Ortaç ONMUŞ[1], Arzu GÜRSOY ERGEN[2], Melis ÖZERBİL[3], Muhammet ERTEM[4], Ayşenur AKGÜN[5], Nilsu KACAROĞLU[6], Bulut OKUMUŞOĞLU[7], Göktuğ SÖNMEZ[8], Mercan Leon ONMUŞ[9], Arnaud BECHET[10], Antoine ARNAUD[11], Christophe GERMAIN[12],

Mehmet SIKI[13], Özge BALKIZ[14]

[1]Ege University Faculty of Sciences, Department of Biology; Natural History Research and Application Center, Ecology & Conservation Biology, İzmir, Türkiye, Orcid: 0000-0002-3819-0626

[2]Ankara University Faculty of Sciences, Department of Biology, Zoology, Ornithology & Ecology, Ankara, Türkiye, Orcid: 000-0001-7776-6571

[3]Ege University Faculty of Sciences, Department of Biology, Ornithology & Ecology, İzmir, Türkiye, Orcid: 0009-0007-1504-9631

[7]Ege University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ecology & Conservation Biology, İzmir, Türkiyr, Orcid: 0000-0003-3366-3305

[5]Ankara University, Graduate School of Natural and Applied Sciences & Faculty of Sciences Department of Biology, Zoology, Ornithology & Ecology, Ankara, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2023-0415

[6]Ege University Faculty of Sciences Department of Biology, Ecology, İzmir, Türkiye, Orcid: 0009-0002-5974-2378

[7]Ege University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ornithology & Ecology, İzmir, Türkiye, Orcid: 0009-0004-8327-7669

[8]Ege University Faculty of Sciences Department of Biology, Ornithology & Conservation Biology, İzmir, Türkiye, Orcid: 0009-0000-6975-8686

[9]Université Paris-Saclay L1 BCST (biologie chimie sciences de la terre), Conservation Biology, Orcid: 0009-0007-8025-5562

[10]Tour du Valat, Species Conservation, Orcid: 0000-0002-0330-6342

[11]Tour du Valat, Species Conservation, Orcid: 0000-0003-1925-4521

[12]Tour du Valat, Species Conservation,

Abstract

The Greater flamingo (*Phoenicopterus roseus*) is a waterbird widely distributed across the Mediterranean Basin. It breeds in key wetlands throughout the region, and in Türkiye mainly in the Gediz Delta (İzmir) and Lake Tuz in Central Anatolia. Flamingos breed colonially on islands within saline lagoons, constructing mud nests, and each pair raises a single chick. They feed using a specialized filter-feeding mechanism, with *Artemia sp.* as the main component of their diet. Flamingos contribute to the dispersal of *Artemia sp.* cysts by consuming and excreting them, enhancing hatching success. As Artemia larvae are an important food source for fish larvae, this interaction plays a vital role in sustaining fisheries and aquaculture. Through these ecosystem services, flamingos act as ecosystem engineers with a key ecological role. Previous studies suggest a Mediterranean-wide metapopulation structure, with the Gediz Delta colony functioning as a critical hub. Since 2003, eight flamingo ringing operations in the Gediz Delta have allowed the marking of 2,020 individuals with PVC rings with a unique alphanumeric code that can be read at a distance with a telescope. Resightings of individuals ringed in Türkiye include 479 records from abroad, and 158 records within the country. Among 15 countries reporting resightings, the highest numbers were recorded in Italy (163) and France (139). Also, resightings from distant biogeographic regions such as Oman and Mauritania demonstrate the wide dispersal capacity of individuals from the Gediz Delta. Conversely, within Türkiye,160 records originally ringed abroad have been observed. The oldest recorded individual is 22 years old. T/AVB ringed individual in the Gediz Delta in 2003, provides an example of survival and site fidelity. First recorded in 2004 and most recently observed in France in 2025, this individual has provided over 22 years of continuous data. These findings highlight Türkiye's strategic role in maintaining connectivity within the Mediterranean flamingo metapopulation. Main threats to flamingo colonies in the Gediz Delta include habitat degradation, uncontrolled urbanization and industrialization, water pollution, predation by stray dogs, disturbance from low-altitude flights, and erosion of breeding islands. To address these threats, an S-shaped artificial breeding island of 6,400 m² was constructed in 2012. Nest counts on this island, with ongoing rehabilitation efforts, provide key breeding data: 16,345 nests in 2016; 18,340 in 2017; 11,909 in 2018; 17,237 in 2019; 13,750 in 2021; 10,124 in 2022; 14,068 in 2023; and 15,904 in 2025. Due to the metapopulation structure, conservation actions in the Gediz Delta have transboundary importance. Protecting this colony is essential for both Türkiye's biodiversity and flamingo populations across the Mediterranean.

Keywords: Flamingo, Ecosystem Services, Gediz Delta, Metapopulation, Ringing

This study is a long-term project that has received support over the years from various institutions and organizations, including Ege University, Ankara University, the Ministry of Agriculture and Forestry, the General Directorate of Nature Conservation and National Parks, the General Directorate of Water Management, the Food and Agriculture Organization (FAO), Tour du Valat, Binbir Gıda Tarım Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. as well as other contributing partners.

ABİYOTİK STRES FAKTÖRLERİNİN BİTKİ PATOJENİ FUNGUSLARIN EPİDEMİYOLOJİSİNE ETKİLERİ

EFFECTS OF ABİOTİC STRESS FACTORS ON THE EPİDEMİOLOGY OF PLANT PATHOGENİC FUNGİ

Olcay DEDECAN[1], Büşra ORBAY[2], Melike AĞDAĞ[3], Talap TALAPOV[4], Murat DİKİLİTAŞ[5], Prof. Dr. Canan CAN[6]

[1,2,3,4,6]Gaziantep Üniversitesi, Fen, Edebiyat Fakültesi, Biyoloji bölümü, Gaziantep, Türkiye

[5]Harran Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Şanlıurfa,Türkiye

İklim değişikliğiyle birlikte artan sıcaklık, kuraklık, yüksek CO_2 konsantrasyonu ve toprak tuzluluğu gibi abiyotik stres faktörleri, patojen funguslarının epidemiyolojisini ve konukçu ile etkileşimlerini değiştirmektedir. Bu faktörler, bitki hastalıklarının ortaya çıkması için gerekli olan "hastalık üçgeni" (hassas konukçu, virülent patojen ve uygun çevre) dengesini çoğunlukla patojen lehine bozarak hastalıkların şiddetini ve yayılımını artırmaktadır. Abiyotik stresler, patojenlerin gelişimini ve virülansını doğrudan etkileyebildiği gibi konukçu bitkinin savunma mekanizmasını da bozarak bitki üzerinde tahmini önceden zor olan değişikliklere neden olurlar. Literatürde ifade edilen sinerjik etkileşim senaryolarında, abiyotik stresin patojenin gelişimini ve yayılmasını teşvik ettiği görülmektedir. Örneğin, tuzluluk (NaCl) stresi altında *Zymoseptoria tritici* gibi önemli buğday patojenlerinin, proteaz ve lakkaz gibi konukçu dokularını parçalayan yıkıcı enzim seviyelerini artırarak daha aktif ve agresif hale geldiği saptanmıştır. Benzer şekilde, yüksek sıcaklıklar patojenlerin kışlamasını kolaylaştırmakta, üreme sezonunu uzatmakta ve daha virülent yeni ırkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Kuraklık, bitkinin su potansiyelini düşürerek onu enfeksiyonlara karşı daha hassas hale getirirken, *Macrophomina phaseolina* gibi bazı patojenlerin kök çürüklüğü oluşturma kapasitesini artırmaktadır. Atmosferdeki CO_2 artışı ise bitki kanopi yoğunluğunu ve nemini artırarak foliar (yaprak) patojenleri için uygun mikroklimalar oluşturmakta ve fungusların sporulasyonunu hızlandırmaktadır. Funguslar, kısa jenerasyon süreleri ve yüksek fenotipik esneklikleri sayesinde değişen abiyotik koşullara bitkilerden çok daha hızlı uyum sağlayabilmektedir. Burada fungusların mikroprotein üretme kapasitelerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Stres altındaki patojenler, melanin sentezi gibi mekanizmalarla kendilerini UV ışınlarına, yüksek sıcaklığa ve osmotik basınca karşı koruyarak zorlu koşullarda hayatta kalma ve enfeksiyon kapasitelerini sürdürme yeteneği kazanırlar. Bitki savunma mekanizması açısından bakıldığında; abiyotik stresler bitkinin enerji kaynaklarını tüketerek savunma sistemini (prolin, PAL, antioksidan enzimler: SOD, POD, CAT) bozmakta ve bitkiyi "ikili stres" altında savunmasız bırakmaktadır. Sonuç olarak, abiyotik stres faktörleri patojenlerin coğrafi dağılımını genişletmekte ve bitki hastalıklarını küresel gıda güvenliği için daha büyük bir tehdit haline getirmektedir. Gelecekteki ıslah stratejileri, bitkilerin hem biyotik hem de abiyotik streslere karşı kombine dayanıklılık geliştirmesine odaklanmalıdır. Bu derlemede, abiyotik stres koşullarının fungus biyokimyasını nasıl şekillendirdiği, ilgili metabolik yolaklar ve moleküler mekanizmalar çerçevesinde değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler İklim Değişikliği, Abiyotik Stress, Fungus Biyokimyası, Bitki Patojen İlişkisi, İkili Stres

Abstract

With climate change, abiotic stressors such as rising temperatures, drought, elevated CO_2 levels, and soil salinity are altering the epidemiology and host interactions of pathogenic fungi. These factors disrupt the balance of the "disease triangle" (susceptible host, virulent pathogen, and favorable environment) necessary for the emergence of plant diseases, often favoring the pathogen, thereby increasing disease severity and spread. Abiotic stresses can directly affect the development and virulence of pathogens and disrupt the host plant's defense mechanisms, leading to changes in the plant that are difficult to predict in advance. In synergistic interaction scenarios described in the literature, abiotic stress is seen to promote the development and spread of pathogens. For example, under salinity (NaCl) stress, important wheat pathogens such as Zymoseptoria tritici have been found to become more active and aggressive by increasing the levels of destructive enzymes that break down host tissues, such as protease and laccase. Similarly, high temperatures facilitate the overwintering of pathogens, prolong the breeding season, and lead to the emergence of more virulent new strains. Drought reduces the plant's water potential, making it more susceptible to infections, while increasing the pathogenicity of some pathogens, such as Macrophomina phaseolina, which can cause root rot. Increased atmospheric CO_2, on the other hand, increases plant canopy density and humidity, creating favorable microclimates for foliar pathogens and accelerating fungal sporulation. Fungi, thanks to their short generation times and high phenotypic resilience, can adapt to changing abiotic conditions much faster than plants. The microprotein production capacity of fungi is thought to play a significant role here. Under stress, pathogens protect themselves against UV radiation, high temperatures, and osmotic pressure through mechanisms such as melanin synthesis, thereby enabling them to survive and maintain their infection capacity under challenging conditions. From a plant defense mechanism perspective, abiotic stresses deplete the plant's energy resources, disrupting its defense systems (proline, PAL, antioxidant enzymes: SOD, POD, CAT) and leaving it vulnerable under "double stress." Consequently, abiotic stress factors are expanding the geographical distribution of pathogens and making plant diseases a greater threat to global food security. Future breeding strategies should focus on developing combined resistance in plants to both biotic and abiotic stresses. This review evaluates how abiotic stress conditions shape fungal biochemistry within the framework of relevant metabolic pathways and molecular mechanisms.

Keywords: Climate Change, Abiotic Stress, Fungal Biochemistry, Plant-Pathogen Relationship, Dual Stress

TARIM EKOSİSTEMLERİNİN RESTORASYONUNDA BİTKİ BÜYÜMESİNİ TEŞVİK EDEN BAKTERİLERİN (PGPB) ROLÜ VE ETKİ MEKANİZMALARI

H.Nilüfer YILDIZ

Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü, Adana, Türkiye

Orcid: 0000-0002-1945-2272

Özet

Topraklar, barındırdığı mikrobiyal flora sayesinde kendisini yenileyebilen ve ekosisteme temel besin sağlayan dinamik bir yapıya sahiptir. Ancak günümüzde tarımsal üretim tekniklerinde aşırı gübre ve pestisit kullanımı sonucunda bunun yanı sıra da iklim değişikliği gibi çevresel faktörler, mikrobiyal çeşitliliği azaltarak toprak yapısını olumsuz etkilemektedir. Bitki büyümesini teşvik eden bakteriler (PGPB), kullandıkları çeşitli biyokimyasal mekanizmalar ile toprak yapısını düzenlemekte ve bitkilerin gelişimini teşvik ederek onları patojen ve zararlı mikroorganizma saldırısı yanısıra yüksek sıcaklık, kuraklık, tuzlanma ve ağır metal kirliliği gibi çevresel streslere karşı dirençli hale getirmektedir. PGPB'ler, ayrıca biyo-çözünürlüğe katkı sunarak ekosistem biyoçeşitliliğini artırmanın yanı sıra doğadaki toksik bileşikleri de parçalayabilmektedir. Bu bakteriler, indol-3-asetik asit (IAA) sentezi ile besin alımını uyararak ve ACC deaminaz üretimiyle de stres kaynaklı etilen birikimini azaltarak bitki büyümesini teşvik edebilirler. Ayrıca topraktaki fosfat çözme ve azotu bağlama yetenekleri ile besin kullanılabilirliğini artırırken; bitkideki sistemik dayanıklığı aktive ederek biyotik/abiyotik stres faktörlerine karşı direnç oluştururlar. Rizosferde hızlı bir şekilde kolonize olabilme yeteneğinde olan bu mikroorganizmalar ayrıca patojenleri baskılayarak tarımsal üretime de destek sağlarlar. Bu derlemede, PGPB'nin bozulmuş tarım ekosistemlerinde toprak restorasyonunu nasıl geliştirdiğine dair moleküler ve fizyolojik mekanizmaları güncel literatür ışığında incelenmektedir. Mikrobiyal populasyonların toprak kalitesini koruma ve restorasyon sürecini hızlandırmadaki hayati rolü göz önüne alınarak PGPB'lerin biyolojik gübrelemenin ötesinde ekolojik rehabilitasyonda kilit birer ajan olduğu sonucuna varılabilir.

Anahtar kelimeler: PGPB, Toprak Restorasyonu, Biyoremediasyon, Mikrobiyal Çeşitlilik, Sürdürülebilir Tarım.

KARIŞIK ANTEP FISTIĞI (*Pistacia vera* L.) VE ZEYTİN (*Olea europaea* L.) BAHÇE TOPRAKLARINDA POTANSİYEL TOKSİK ELEMENTLERİN İNSAN SAĞLIĞINA YÖNELİK KARSİNOJENİK VE NON-KARSİNOJENİK RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

NON-CARCINOGENIC AND CARCINOGENIC EFFECTS OF POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS ON HUMAN HEALTH IN MIXED PISTACHIO (*Pistacia vera* L.) AND OLIVE (*Olea europaea* L.) ORCHARD SOILS

Mustafa DEMİR[1], Erdihan TUNÇ[2], Sören THIELE-BRUHN[3]

[1]Şehitkamil Devlet Hastanesi, Tıbbi Biyokimya Laboratuvarı, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9861-6855

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Orcid: 0000-0002-1880-3106

[3]Trier Üniversitesi, Bölgesel ve Çevresel Bilimler, Toprak Bilimi Bölümü, Almanya

Orcid: 0000-0003-2721-7333

Özet

Tarımsal topraklarında artan antropojenik kirlilik, sadece ekosistemlerin sağlığını, sürdürülebilirliğini ve işlevselliğini değil aynı zamanda insan sağlığını da tehdit etmektedir. Bu bakımdan, bu çalışma Gaziantep'te yol kenarlarındaki Aantepfıstığı ve zeytin karışımı bahçelerde oluşan Potansiyel Toksik Element (PTE) kirliliğinin, insanlarda non-karsinojenik ve karsinojenik risklerinin olup olmadığının tespiti amacı ile yürütüldü. Gaziantep ile Adana (D400), Nizip (D400), Yavuzeli (D850) yol kenarlarındaki antepfıstığı ve zeytin bahçelerinden, yola 10, 25, 50 ve 100 m uzaklıklardaki 15 farklı örnekleme alanından toplam 60 toprak örneği alındı. Toprakların kadmiyum (Cd), kobalt (Co), krom (Cr), bakır (Cu), mangan (Mn), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) içerikleri saptandı. Topraklarda PTE içeriklerinin genel ortalaması Cd için 0.27 ± 0.12 $mg.kg^{-1}$, Co için 15.89 ± 5.38$mg.kg^{-1}$, Cr için 79.31 ± 26.88 $mg.kg^{-1}$, Cu için 18.14 ± 3.73 $mg.kg^{-1}$, Mn için 434.30 ± 112.70 $mg.kg^{-1}$, Ni için 111.40 ± 42.85$mg.kg^{-1}$, Pb için 61.73 ± 8.48 $mg.kg^{-1}$ ve Zn için 66.02 ± 13.34 $mg.kg^{-1}$ idi. Ni dışındaki diğer PTE'lerin Türkiye'de pH > 7 olan topraklar için yasal sınırların altında kaldığı, dünya toprak ortalamasına göre ise Cd, Co, Ni, Pb ve Zn bakımından kirlendiği saptandı. Yoldan uzaklığa (DtR) bağlı olarak anlamlı farklılıklara (p>0.05) sahip olmayan PTE içeriklerinin, trafik yoğunluğuna (TrD) göre anlamlı farklılıklara sahip olduğu (p<0.05) bulundu. Non-karsinojenik risk değerlendirme sonuçları, tehlike katsayısının (HQ) $1.27x10^{-8}$ ile $2.69x10^{-1}$ arasında değiştiği, yutma yolu ile gerçekleşen riskin (HQing), toplam HQ'ya %71.75 ile %99.72 aralığında değişen olanlarda HQ'ya katkı yaptığı ve özellikle çocukların yetişkinlere göre yaklaşık olarak HQing ve HQdrm bakımından 9, HQinh bakımından ise 2.5 kat daha fazla non-karsinojenik risk altında olduklarını gösterdi. Ayrıca $2.67x10^{-1}$-$6.03x10^{-1}$ aralığında tespit edilen tehlike indeksi (HI), PTE kirliliğinin insan sağlığı bakımından non-karsinojenik riske sahip olmadığını (HI<1) gösterdi. $6.53x10^{-12}$ ile $6.55\ x10^{-5}$ aralığında değişen karsinojenik riskin (CR) büyük bir kısmının (%99.42 ile %99.99 arası), Cd, Cr, Ni ve Pb bakımından CR'nin yutma yolu (CRing) ile gerçekleştiği, bütünleşmiş karsinojenik risk (TCR) ortalamasının çocuklar için $1.30x10^{-4} \pm 4.81x10^{-5}$, yetişkinler için ise $5.55x10^{-5} \pm 2.06\ x10^{-5}$ olduğu, TCR'ye göre çocuklar için %66.67'nin ılımlı düzeyde karsinojenik riske sahip olduğu ($10^{-4} < TCR \leq 10^{-3}$), yetişkinler bakımından ise toprakların tamamının ise düşük riske

($10^{-6} < TCR \leq 10^{-4}$) sahip olduğu bulundu. Ulaşımın önemli düzeyde katkısının bulunmadığı, dolayısı ile doğal ve tarımsal aktiviteler sonucu oluşan PTE kirliliği ve insan sağlığı üzerindeki non-karsinojenik ve karsinojenik risklerin azaltılması, gelecekte insan sağlığı üzerine oluşması muhtemel daha büyük risklerin engellenmesi ve dolayısı ile bölgede yaşayan insanların sağlıklarının korunması bakımından önem arz etmektedir.

Anahtar kelimeler: Potansiyel toksik element (PTE), Toprak kirliliği, İnsan sağlığı, Gaziantep, Zeytin ve fıstık bahçeleri

Abstract

Increasing anthropogenic pollution in agricultural soils threatens not only the health, sustainability, and functionality of ecosystems but also human health. In this regard, this study was conducted to determine whether potentially toxic element (PTE) pollution in mixed pistachio and olive orchards along roadsides in Gaziantep poses non-carcinogenic and carcinogenic risks to humans. A total of 60 soil samples were collected from 15 different sampling areas located 10, 25, 50, and 100 m to the roads of pistachio and olive orchards along the Gaziantep-Adana (D400), Gaziantep-Nizip (D400), and Gaziantep-Yavuzeli (D850) highways. The cadmium (Cd), cobalt (Co), chromium (Cr), copper (Cu), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), and zinc (Zn) contents of the soils were determined. The mean of PTE's in the soils was 0.27 ± 0.12 $mg.kg^{-1}$ for Cd, 15.89 ± 5.38 $mg.kg^{-1}$ for Co, 79.31 ± 26.88 $mg.kg^{-1}$ for Cr, 18.14 ± 3.73 $mg.kg^{-1}$ for Cu, 434.30 ± 112.70 $mg.kg^{-1}$ for Mn, 111.40 ± 42.85 $mg.kg^{-1}$ for Ni, 61.73 ± 8.48 $mg.kg^{-1}$ for Pb, and 66.02 ± 13.34 $mg.kg^{-1}$ for Zn. It was determined that other PTEs except Ni remained below the legal limits for soils with pH > 7 in Türkiye, but were contaminated for Cd, Co, Ni, Pb, and Zn according to the mean content of PTE's in the World soil. PTE, which did not show significant differences ($p>0.05$) depending on distance from the road (DtR), was found to have significant differences ($p<0.05$) depending on traffic density (TrD). The non-carcinogenic risk assessment results showed that the hazard coefficient (HQ) ranged from $1.27x10^{-8}$ to $2.69x10^{-1}$, the risk through ingestion pathway (HQing) contributed to the total HQ in the range of 71.75% to 99.72%, and that children were at approximately 9 times higher non-carcinogenic risk than adults for HQing and HQdrm, and 2.5 times higher for HQinh. Furthermore, the hazard index (HI), which was determined to be in the range of $2.67x10^{-1}$ to $6.03x10^{-1}$, indicated that PTE contamination did not pose a non-carcinogenic risk to human health (HI<1). It was found that a large portion of the carcinogenic risk (CR), ranging from $6.53x10^{-12}$ to $6.55x10^{-5}$ (99.42% to 99.99%), occurred via ingestion pathway (CRing) for Cd, Cr, Ni, and Pb; the mean of integrated carcinogenic risk (TCR) was $1.30x10^{-4} \pm 4.81x10^{-5}$ for children and $5.55x10^{-5} \pm 2.06x10^{-5}$ for adults; according to TCR, 66.67% of children had a moderate level of carcinogenic risk ($10^{-4} < TCR \leq 10^{-3}$), while all adults had a low risk ($10^{-6} < TCR \leq 10^{-4}$). Reducing PTE pollution, which is caused by natural and agricultural activities and not significantly contributed to by transportation, and mitigating non-carcinogenic and carcinogenic risks to human health, is crucial for preventing potentially greater risks to human health in the future and thus protecting the health of the people in the region.

Keywords: Potentially toxic element (PTE), Soil pollution, Human health, Gaziantep, Pistachio and olive orchards

TÜRKİYE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR AVCILIK: KORUNAN TÜRLER VE MEVCUT SORUNLAR ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

Göktuğ SÖNMEZ[1], Muhammet ERTEM[2], Melis ÖZERBİL[3], Ortaç ONMUŞ[4]

[1]Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Ornitoloji & Koruma Biyolojisi, İzmir, Türkiye

0009- Orcid: 0000-6975-8686

[2]Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ekoloji & Koruma Biyolojisi, İzmir, Türkiye

Orcid: 0000-0003-3366-3305

[3]Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Ornitoloji & Ekoloji, İzmir, Türkiye

Orcid: 0009-0007-1504-9631

[4]Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü & Tabiat Tarihi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ekoloji & Koruma Biyolojisi, İzmir, Türkiye

Orcid: 0000-0002-3819-0626

Özet

Avcılık, geleneksel bir insan aktivitesidir. 20. Yüzyıldan itibaren ülkeler, kendi avlanma yasalarını çıkartmaya başlamışlardır. Türk kültüründe köklü bir geçmişi olan avcılık; beslenme ve eğlencenin yanı sıra askeri bir hazırlık yöntemi olarak da kullanılmıştır. Avcılık faaliyetleri ilk olarak 1869-1877 yılları arasında yayınlanan "Mecelle-i Ahkâmı Adliye" ile düzene sokulmak istenmiş, 1883 tarihli Kara ve Deniz Avcılığı Zabıtası Nizamnamesi ile çalışmalar sürdürülmüş, 1937 yılında yürürlüğe giren 3167 sayılı kanunla yeniden yasal bir disiplin altına alınmıştır. 2003 yılında ise yerini güncel 4915 sayılı Kara Avcılığı Kanunu'na bırakmıştır.

Bu çalışmada kara avcılığı kanununun genel bir değerlendirmesi yapılmakta olup öneriler sunulmaktadır. 2023 Tarım ve Orman İdare Faaliyet raporunda ülkemizde 1.152'si Devlet, 1.036'sı Genel, 34'ü Örnek ve 2'si Özel avlak olmak üzere toplamda 2.224 avlak bulunduğu belirtilmiştir. 341.311 kayıtlı avcı bulunmaktadır. Bu bölgeler dışında kalan bölgelerde av yapılamaz. Avcılığın yasak olduğu Milli parklar (50), Tabiat parkları (270), Tabiat koruma alanları (32) Tabiat anıtları (111), Özel çevre koruma bölgeleri (17), Özel kanunlarla korunan alanlar (4) ve Yaban hayatı geliştirme sahaları (85) ise toplamda 569 adettir.

2026 yılı itibarıyla Türkiye'de 508 farklı kuş türü tanımlanmış olup; bu türlerden 100 tanesi hakkında uygulanacak kararlar, yürürlükteki kanun ve sezonluk olarak yayımlanan "Merkez Av Komisyonu Kararı" ile düzenlenmektedir. Bu karara göre avlanabilecek türler 4 ayrı grup altında toplam 29 tür olarak belirlenmiştir. 2'si doğaya geri bırakmak kaydıyla canlı şekilde avlanmaktadır. Geri kalan 69 tür ise özel olarak koruma altındadır. Geri kalan 408 tür ise kanunda yer almasalar dahi avlanmaları yasaktır.

Türkiye'deki av yönetimi; veri güvenilirliği, kotaların popülasyon dinamikleriyle uyumsuzluğu ve tür teşhisindeki teknik yetersizlikler nedeniyle yapısal sorunlar barındırmaktadır. Ava açık türler ile koruma altındaki türlerin aynı habitatı paylaşması, denetim eksiklikleriyle birleşerek hassas türler üzerinde ikincil bir baskı oluşturmakta; mevcut mevzuat ise bu ekolojik etkileşime yönelik yeterli çözümler sunamamaktadır. Sürdürülebilir

yönetim kapsamında; haznesi sınırlandırılmamış tüfekler, gece görüş sistemleri, elektronik ses cihazları ve dron kullanımı yasaktır. Ayrıca motorlu araçlarla müdahale, kuluçka alanlarına zarar verme ve yeme alıştırma yöntemleri yasaklanmış olup; tüm faaliyetlerin yasal izinler ve teknik standartlar çerçevesinde yürütülmesi zorunludur.

Türkiye'deki av yönetimi, güncel bilimsel veriler ve ekolojik gerekliliklerle yeniden yapılandırılmalıdır. Mevcut kanun kapsamındaki uygulama aksaklıklarının giderilmesi, bilimsel envanter çalışmalarının derinleştirilmesi ve denetimlerin artırılması elzemdir. Sürdürülebilir bir yaban hayatı yönetimi için biyolojik çeşitliliğin korunmasını temel alan, veri odaklı bir yaklaşımın benimsenmesi, doğal mirasın korunması açısından kritik önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yaban Hayatı Yönetimi, Sürdürülebilir Avcılık, Popülasyon, Biyoçeşitlilik, Koruma Biyolojisi

BİYOLOJİK KONTROL MEKANİZMALARININ GÜNCEL EKOLOJİK VE TARIMSAL SORUNLAR ÇERÇEVESİNDE YENİDEN DEĞERLENDİRMESİ

İbrahim Ethem BULUT[1], Derya İŞLER CEYHAN[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji, Gaziantep,Türkiye, Orcid: 0009-0008-4783-3751

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye Orcid: 0000-0002-7871-3647

Özet

Tarımsal üretimde bitki hastalıkları, zararlılar ve yabancı otlar nedeniyle oluşan kayıplar, küresel gıda güvenliğini tehdit eden temel sorunlar arasında yer almaktadır. Uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan sentetik pestisitler kısa vadede etkili sonuçlar sağlasa da direnç gelişimi, çevresel kirlilik, toprak biyotasının bozulması, kalıntı sorunu ve insan sağlığına yönelik riskler gibi önemli problemlere yol açmaktadır. Ayrıca iklim değişikliği, sıcaklık dalgalanmaları, kuraklık ve yeni patojenlerin yayılımı mevcut mücadele yöntemlerinin yeniden gözden geçirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede biyolojik kontrol mekanizmaları, güncel ekolojik ve tarımsal sorunlara karşı stratejik bir çözüm alanı olarak yeniden değerlendirilmektedir.

Biyolojik kontrol; faydalı mikroorganizmalar, doğal düşmanlar ve bitki kökenli biyoaktif bileşikler aracılığıyla zararlı organizmaların baskılanmasına dayanmaktadır. Klasik rekabet, antibiyozis ve parazitizm mekanizmalarının yanında günümüzde bitki mikrobiyomunun yönetimi önemli bir yaklaşım haline gelmiştir. Özellikle rizosfer ve endofitik mikroorganizmaların bitki sağlığı üzerindeki etkileri, hastalık baskısının azaltılmasında yeni fırsatlar sunmaktadır. Mikrobiyom temelli uygulamalar sayesinde bitkinin doğal savunma kapasitesi artırılabilmekte ve stres koşullarına toleransı geliştirilebilmektedir.

Son yıllarda öne çıkan bir diğer yaklaşım, çoklu biyolojik ajan kombinasyonlarıdır. Tek bir mikroorganizma yerine bakteri-mantar konsorsiyumlarının kullanılması, farklı etki mekanizmalarının aynı anda devreye girmesine olanak sağlamaktadır. Böylece hem patojen baskısı artmakta hem de bitki gelişimi desteklenmektedir. Bunun yanında RNA temelli biyolojik mücadele stratejileri, hedef organizmalarda gen susturma yoluyla seçici baskılama sağlayan yenilikçi uygulamalar arasında gösterilmektedir.

Dijital tarım teknolojileri de biyolojik kontrolün etkinliğini artırmaktadır. Yapay zekâ destekli hastalık tahmin modelleri, hassas uygulama sistemleri ve sensör tabanlı izleme yöntemleri sayesinde biyolojik ajanların doğru zamanda ve doğru dozda kullanılması mümkün hale gelmektedir. Bu durum maliyetleri azaltırken başarı oranını yükseltmektedir.

Ekolojik açıdan biyolojik kontrol; toprak sağlığının korunması, faydalı canlı popülasyonlarının desteklenmesi, pestisit kalıntısının azaltılması ve agroekosistemlerde biyolojik çeşitliliğin sürdürülmesi bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Günümüzde biyolojik kontrol artık yalnızca alternatif bir yöntem değil, iklim değişikliğine uyumlu sürdürülebilir tarım sistemlerinin temel bileşenlerinden biri olarak görülmelidir.

Bu bildirinin amacı, biyolojik kontrol kavramını klasik çerçevenin ötesinde güncel bilimsel gelişmeler ışığında yeniden ele almak ve gelecekteki uygulama potansiyeline dikkat çekmektir.

Anahtar Kelimeler: biyolojik kontrol, mikrobiyom, sürdürülebilir tarım, yapay zeka, agroekoloji, bitki sağlığı.

EKOLOJİK FAKTÖRLERİN HAYVAN DNA YAPISI ÜZERİNE ETKİLERİ

Gül AYHAN[1], Adile AKPINAR[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye Orcid: 0009-00004749-0551

[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Gaziantep, Türkiye Orcid: 0000-0001-5815-1096

Özet

Bu çalışma ile ekolojik faktörlerin hayvan DNA'sı üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde ele alındı. Kimyasal stres faktörleri (ağır metaller ve pestisitler), fiziksel stres faktörleri (UV radyasyonu ve genotoksik stres), biyolojik stres faktörleri (patojenler ve rekabet) ve küresel çevre değişimleri (iklim değişikliği, okyanus asitlenmesi ve hipoksi) incelenen başlıca kategorilerdir.

Araştırmalarda kurşun, kadmiyum ve krom gibi ağır metallerin DNA zincir kırılmalarına, baz oksidasyonuna ve epigenetik değişimlere yol açtığı; pestisitlerin özellikle reaktif oksijen türleri (ROS) aracılığıyla genotoksik ve mutajenik etkiler oluşturduğu ortaya konmuştur. UV radyasyonu, siklobütan pirimidin dimeri (CPD) ve (6-4) pirimidon gibi fotoproduktların oluşumuna neden olarak DNA hasarını derinleştirmektedir. Habitat bozulması, parçalanmış popülasyonlarda genetik sürüklenme ve akraba çiftleşmesi yoluyla genomik erozyona zemin hazırlamaktadır. İklim değişikliğinin neden olduğu okyanus asitlenmesi ise deniz canlılarında DNA onarım kapasitesini baskılayarak genetik bütünlüğü tehdit etmektedir.

Yapılan çalışmalar ile elde edilen bulgular, çevresel kirleticilerin ve küresel değişimlerin hayvan DNA'sı üzerindeki etkilerinin çok boyutlu ve birbirini potansiyelize edecek nitelikte olduğudur. Bu çalışma, ekolojik stres faktörlerinin DNA hasarı mekanizmalarını derleyen kapsamlı bir literatür taraması niteliği taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Ağır metaller, DNA hasarı, pestisitler, UV radyasyonu.

SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE VE BİYOÇEŞİTLİLİK: KURAKLIK STRESİNDE *Fusarium oxysporum* F.SP. *CİCERİS* IRKLARININ ENZİMATİK ADAPTASYONU

SUSTAİNABLE ENVIRONMENT AND BIODIVERSITY: ENZYMATIC ADAPTATİON OF FOC RACES UNDER DROUGHT STRESS

Ümmühan KAŞIKCI ŞİMŞEK[1], Murat DİKİLİTAS[2], Canan CAN[3]

[1]Harran Üniversitesi- Bitki Koruma Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Orcid: 0000-0003-2606-4646

[2]Harran Üniversitesi- Bitki Koruma Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Orcid: 0000-0002-7399-4750

[3]Gaziantep Üniversitesi- Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Orcid: 0000-0002-0473-1914

Özet

Küresel ısınma sonucu şiddeti artan kuraklık stresi, tarımsal biyoçeşitliliği tehdit eden ve patojen-konukçu ilişkilerini değiştirme kapasitesine sahip önemli bir çevresel stres faktörüdür. Bu çalışma, sürdürülebilir çevre dengesi içerisinde nohut bitkisinde iletim demeti solgunluğuna neden olan toprak kökenli patojen *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* (*Foc*) 5 farklı ırkının (Irk 0, 1A, 2, 4 ve 5), Polietilen Glikol (PEG6000) ile simüle edilen kuraklık koşullarındaki biyokimyasal tolerans mekanizmalarını incelemiştir. Araştırmada, ekosistemdeki kalıcılığın temelini oluşturan proteaz ve lakkaz enzim aktiviteleri ile toplam protein içeriğindeki değişimler hedef noktası olarak belirlenmiştir. Patojenin su kısıtı altındaki fizyolojik yanıtları, 10-, 20- ve 30 günlük inkübasyon süreçlerinde analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, kuraklık stresinin artışı ile yüksek virülens karakterine sahip *Foc* ırklarında proteaz ve lakkaz enzim aktivitelerinin paralel bir yükseliş gösterdiğini ortaya koymuştur. Proteaz aktivitesindeki artışın, patojenin su stresi altında proteini parçalamada etkili olduğu değerlendirilmiştir. Lakkaz enzim aktivitesindeki yükselişin ise fungusun oksidatif strese karşı geliştirdiği koruyucu bir mekanizma olduğu, aynı zamanda patojenisiteyi destekleyen bir adaptasyon yeteneği olduğu değerlendirilmiştir. Toplam protein içeriği üzerindeki analizler, kuraklık stresinin patojen bünyesinde kapsamlı bir metabolik yapılanmaya yol açtığını doğrulamıştır. Patojenin değişken kuraklık seviyelerine göre toplam protein miktarını optimize etmesi, zıt koşullarda dahi hücresel fonksiyonlarını sürdürmesine olanak tanır. Nitekim TTC (triphenyltetrazolium chloride) testi sonuçları, patojenin %50 gibi yüksek osmotik stres seviyelerinde dahi canlılığını yitirmediğini, aksine enzim sistemlerini ve protein dengesini dinamik bir şekilde değiştirerek varlığını sürdürdüğünü ortaya koymuştur. Bulgular, *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*'in iklim değişikliğine bağlı kuraklık baskısı altında lakkaz, proteaz ve protein metabolizması üzerinden yüksek bir adaptasyon kabiliyeti sergilediğini göstermektedir. Söz konusu tolerans mekanizmalarının anlaşılması, biyoçeşitliliğin korunması ve kuraklığın yaygın olduğu tarım alanlarında sürdürülebilir hastalık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından hayati öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Çevre, Kuraklık Stresi, *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*, Proteaz, Lakkaz

Abstract

Drought stress, intensified by global warming, is a significant environmental stress factor capable of threatening agricultural biodiversity and altering pathogen-host interactions. Within the context of sustainable environmental balance, this study investigated the biochemical tolerance mechanisms of five distinct races (Race 0, 1A, 2, 4, and 5) of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* (*Foc*) a soil-borne pathogen causing vascular wilt in chickpeas—under drought conditions simulated by Polyethylene Glycol (PEG6000). The research focused on changes in total protein content as well as protease and laccase enzyme activities, which form the basis of the pathogen's ecological persistence. The physiological responses of the pathogen under water deficit were analyzed over 10-, 20-, and 30-day incubation periods. The obtained data revealed that with increasing drought stress, protease and laccase enzyme activities exhibited a parallel rise in highly virulent *Foc* races. The increase in protease activity was considered indicative of the pathogen's efficiency in protein degradation under water stress. The elevation in laccase enzyme activity was evaluated both as a protective mechanism developed by the fungus against oxidative stress and as an adaptive trait supporting pathogenicity. Furthermore, analyses of total protein content confirmed that drought stress triggers a comprehensive metabolic restructuring within the pathogen. The pathogen's ability to optimize total protein levels in response to varying drought intensities allows it to maintain cellular functions even under adverse conditions. Indeed, TTC (triphenyltetrazolium chloride) test results demonstrated that the pathogen retained its viability even at high osmotic stress levels, such as 50%; rather, it sustained its existence by dynamically altering its enzymatic systems and protein balance. The findings indicate that *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* exhibits a high adaptive capacity under climate change-induced drought pressure through laccase, protease, and protein metabolism. Understanding these tolerance mechanisms is of vital importance for conserving biodiversity and developing sustainable disease management strategies in drought-prone agricultural areas.

Keywords: Sustainable Environment, Drought Stress, *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*, Protease, Laccase.

LİSE ÖĞRENCİLERİNİN BİYOÇEŞİTLİLİĞE YÖNELİK OKURYAZARLILIKLARININ BAZI DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF HIGH SCHOOL STUDENTS' BIODIVERSITY LITERACY IN TERMS OF CERTAIN VARIABLES

Sibel GÜRBÜZOĞLU YALMANCI[1], Gizem BOZKURT [2]

[1] **Kafkas Üniversitesi Dede Korkut Eğitim Fakültesi, Biyoloji Eğitimi, Kars, Türkiye**

Orcid: 0000-0002-6107-3284

[2] **Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Eğitimi, Kars, Türkiye**

Orcid: 0009-0000-5063-9644

Özet

Biyoçeşitlilik insanların ihtiyaçlarını birçok alanda karşılamaktadır dolayısıyla tarım, hayvancılık, sağlık, turizm gibi konularda yaşam için sağlıklı bir çevre oluşturur. Bu açıdan ekosistemin işleyişinin temelinde biyoçeşitlilik vardır denilebilir. Türkiye Avrupa ve Orta Doğunun en zengin biyolojik çeşitliliğe sahip ülkelerinden birisidir. 1992 yılında düzenlenen "Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda biyoçeşitliliğin korunması gerekliliği üzerinde durulurken bu konuda eğitim öneminden de bahsedilmiş ve biyoçeşitlilik konusu küresel bir boyut kazanmıştır. İngiltere Çevre Eğitimi Konseyin'de de Biyoçeşitlilik eğitiminin amaçları biyoçeşitliliğin tanımlanabilmesi, biyoçeşitlilik içerisindeki türlerin, habitatların, ekosistemlerin zaman içinde değiştiğinin kavranması, biyoçeşitliliğin kültür ve ekonominin bir parçası olduğunun farkedilmesi, bireylerin kendi çevrelerinden başlayarak biyoçeşitlilikle ilgili bilgi edinmesi, biyoçeşitliliği korunması, önlemler alınması, biyoçeşitlilik hakkında anlayış geliştirilmesi, biyoçeşitliliğin öneminin farkında olunması, geliştirilen fikir ve anlayışların zaman içerisinde değişime uğrayabileceğinin bilinmesi şeklinde ele alınmıştır. Türkiye'de de liselerde 9. Sınıftan itibaren biyoçeşitlilik konusu işlenmektedir. Programda öğrencilerin "Yaşam" temasında biyoçeşitliliği oluşturan unsurların tanımlanması, 10. sınıfların "Ekoloji" temasında ekosistemler, komünite ve popülasyondaki değişimler etkileşimler, doğal kaynakların ve biyoçeşitliliğin korunması ve ekolojik sürdürülebilirlik kazanımlarına yer verilmektedir. Dolayısıyla bireylerin biyoçeşitliliğin farkında olması ve biyoçeşitliliğin korunması ve gerekli önlemlerin alınmasında anlayış geliştirmelerinde bir tutum oluşturmaları çok önemlidir. Daha önce yapılan çalışmalarda insanların biyoçeşitliliğin azalmasında kendilerinin katkılarının farkına varması ve biyoçeşitliliğin korunmasında, sorumluluk duymaları ve davranışlarının farkında olmaları gerektiğini belirtmiştir.

Bu açıdan bu çalışmada, lise öğrencilerinin biyoçeşitliliğe yönelik okuryazarlıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma, ortaöğretim öğrencilerinin biyoçeşitlilik okuryazarlığı farklı değişkenler açısından belirlemeyi amaçladığından bu araştırmada betimsel tarama modelinde ilişkisel tarama yöntemi kullanılmıştır. 2024-2025 eğitim öğretim yılında Kars ilinde ortaöğretim kurumlarında öğrenim gören 9. ve 10. sınıf öğrencileri çalışmanın örneklemini oluşturmuştur. Araştırmada veriler, biyoçeşitlilik okuryazarlık ölçeği ile toplanmıştır. Ölçek Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı okullarda öğrenim gören 249 lise öğrencisine uygulanmıştır. Verilerin analizi için ilişkisiz grup t–testi kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, öğrencilerin biyoçeşitlilik okuryazarlıklarının orta düzey olduğu belirlenmiştir.

Cinsiyetlerine göre biyoçeşitlilik okuryazarlıklarının ve sınıf düzeyine göre biyoçeşitlilik okuryazarlıklarında anlamlı bir farklılık saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyoçeşitlilik, Biyoçeşitlilik Okuryazarlığı, Lise öğrencileri, Biyoloji eğitimi

(Bu çalışma yazarın yüksek lisans tezindeki verilerin bir kısmı ile üretilmiştir).

Abstract

Biodiversity meets human needs in numerous fields; thus, it creates a healthy environment for life in sectors such as agriculture, animal husbandry, health, and tourism. In this respect, it can be stated that biodiversity lies at the core of ecosystem functioning. Türkiye is one of the richest countries in Europe and the Middle East in terms of biological diversity. While the necessity of protecting biodiversity was emphasized at the 1992 "United Nations Conference on Environment and Development," the importance of education on this subject was also highlighted, and biodiversity gained a global dimension. The Council for Environmental Education (UK) defines the objectives of biodiversity education as follows: identifying biodiversity; understanding that species, habitats, and ecosystems change over time; realizing that biodiversity is an integral part of culture and economy; acquiring knowledge starting from one's immediate environment; and developing an awareness to take necessary conservation measures.

In Türkiye, biodiversity has been integrated into the high school curriculum starting from the 9th grade. The 9th-grade "Life" theme focuses on identifying the elements of biodiversity, while the 10th-grade "Ecology" theme includes learning outcomes related to ecosystems, community and population dynamics, the protection of natural resources, and ecological sustainability. Therefore, it is crucial for individuals to be aware of biodiversity and develop a proactive attitude toward its conservation. Previous studies emphasize that individuals must recognize their own impact on biodiversity decline and take responsibility for their environmental behaviors.

Accordingly, this study aims to determine the biodiversity literacy levels of high school students. Since the research evaluates biodiversity literacy in relation to various variables, a correlational survey method within the descriptive survey model was employed. The study sample consisted of 9th and 10th-grade students attending secondary education institutions in the province of Kars during the 2024-2025 academic year. Data were collected using the "Biodiversity Literacy Scale" administered to 249 students. Independent samples t-test was used for data analysis. The results revealed that students' biodiversity literacy is at a moderate level. Furthermore, a significant difference was identified in biodiversity literacy levels based on gender and grade level.

Keywords: Biodiversity, Biodiversity Literacy, High school students, Biology education

(This study was produced using a portion of the data from the author's master's thesis).

ÇEŞİDE ÖZGÜ KİNETİN DUYARLILIĞI: KURAKLIK STRESİ ALTINDA BÜLBÜL-89 VE BURAKBEY ARPA ÇEŞİTLERİNDE MORFOFİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL YANITLAR

VARIETY-SPECIFIC KINETIN SENSITIVITY: MORPHOPHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL RESPONSES OF BÜLBÜL-89 AND BURAKBEY BARLEY CULTIVARS UNDER DROUGHT STRESS

Serkan ÖZMEN [1], Selma TABUR [2]

[1] Süleyman Demirel Üniversitesi Atayalvaç Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü İlk ve Acil Yardım Programı, Isparta, Türkiye

Orcid: 0000-0003-4376-5866

[2] Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Biyoloji Bölümü, Isparta, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9458-944X

Özet

Çevresel stres faktörlerinin başında gelen kuraklık, dünya genelinde bitki büyümesini ve verimliliğini ciddi şekilde etkilemektedir. İklim değişikliğinin ve küresel sıcaklık artışlarının etkisiyle kuraklık şiddetlenmekte, buna bağlı olarak stres kaynaklı tarım arazisi kayıpları gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Bu nedenle, strese dayanıklı ve yüksek verimli bitki çeşitlerinin geliştirilmesiyle sürdürülebilir bir verim artışı sağlanmalıdır. Sitokininler, bitki büyüme ve gelişimini düzenleyen ve bazı fizyolojik mekanizmalar aracılığıyla bitkilerin kuraklık stresine toleransını dolaylı olarak artırabilen önemli bitki hormonlarıdır. Sitokininlerin sentetik bir formu olan kinetin (KIN), fotosentetik protein sentezini uyararak klorofil içeriğini artırır, hücre bölünmesini hızlandırır; ayrıca apikal baskınlığı düzenleyerek yaprak yaşlanmasını geciktirmektedir. Bu çalışma kapsamında, kuraklığa farklı yanıtlar sergileyen iki arpa çeşidinde (*Hordeum vulgare* cv. Bülbül-89 ve *Hordeum vulgare* cv. Burakbey), polietilen glikol 6000 (PEG 6000) ile oluşturulan kuraklık stresi koşullarında, eksojen KIN (100 µM) uygulamasının ardından fizyolojik parametreler ile biyokimyasal enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimler değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, kuraklık stresinin her iki arpa çeşitlerinde hem morfofizyolojik parametreler hem de biyokimyasal enzim aktiviteleri üzerinde baskılayıcı etkiler meydana getirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, kuraklık stresi koşullarında dışarıdan KIN uygulaması, morfofizyolojik parametreler üzerinde Bülbül çeşidinde iyileşmelere neden olurken, Burakbey'de çimlenme yüzdesi haricinde etkili olamamıştır. Kuraklık stresi altında eksojen KIN uygulaması sonrasında her iki çeşitte de malondialdehit (MDA), askorbat peroksidaz (APX) ve süperokist dismutaz (SOD) enzim aktivitelerinde artış, total protein miktarında azalma tespit edilmiştir. Ancak katalaz (CAT) ve prolin miktarlarında Bülbül'de azalma olurken Burakbey'de artış olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, bulgular, KIN uygulamasının, morfofizyolojik özellikler açısından çeşitlere bağlı bir şekilde kuraklık stresinin etkilerini hafiflettiğini ve biyokimyasal düzeyde antioksidan enzim aktivitelerini düzenleyerek oksidatif stresi azaltmaya katkıda bulunduğunu göstermektedir.

Yapılan bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından sağlanan Doktora Sonrası Araştırma Programı (DOSAP) kapsamında desteklenmiştir.

Anahtar kelimeler: Arpa, Biyokimyasal enzim aktivitesi, Kuraklık stresi, Kinetin, Morfofizyolojik etki, Total protein.

Abstract

Drought, one of the major environmental stress factors, severely affects plant growth and productivity worldwide. The effects of climate change and global temperature increase are intensifying drought, and consequently, stress-induced land losses are threatening food security. Therefore, sustainable yield increases should be achieved by developing stress-resistant and high-yielding plant varieties. Cytokinins are important plant hormones that regulate plant growth and development and can indirectly increase plants tolerance to drought stress through certain physiological mechanisms. kinetin (KIN), a synthetic form of cytokinins, stimulates photosynthetic protein synthesis, increasing chlorophyll content and accelerating cell division; it also delays leaf senescence by regulating apical dominance. In this study, changes in physiological parameters and biochemical enzyme activities following exogenous KIN application (100 µM) were evaluated in two barley varieties (*Hordeum vulgare* cv. Bülbül-89 and *Hordeum vulgare* cv. Burakbey) exhibiting different responses to drought under drought stress conditions induced with polyethylene glycol 6000 (PEG 6000). The results of the study show that drought stress has suppressive effects on both morphophysiological parameters and biochemical enzyme activities in two barley varieties. However, under drought stress conditions, exogenous KIN application resulted in improvements in morphophysiological parameters in the Bülbül variety, while it had no effect on Burakbey except for germination percentage. Following exogenous KIN application under drought stress, both cultivars showed increased activity of malondialdehyde (MDA), ascorbate peroxidase (APX), and superoxide dismutase (SOD) enzymes, and a decrease in total protein content. However, it was determined that while catalase (CAT) and proline levels decreased in Bülbül, they increased in Burakbey. Overall, the findings demonstrate that KIN application alleviates the effects of drought stress in a cultivar-dependent manner in terms of morphophysiological traits and contributes to the mitigation of oxidative stress by regulating antioxidant enzyme activities at the biochemical level.

This study was supported by the Postdoctoral Research Program provided by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Süleyman Demirel University.

Keywords: Barley, Biochemical enzyme activity, Drought stress, Kinetin, Morphophysiological effect, Total protein.

ISPARTA MERKEZİNDE TEPELİ TOYGAR (*Galerida cristata*)'IN BİYOLOJİSİ
BIOLOGY of CRESTED LARK (Galerida cristata) in ISPARTA CENTER

Yiğit ANTEPLİOĞLU [1], Mehmet Ali TABUR [2]

[1]Süleyman Demirel Üniversitesi, Biyoloji, Isparta, Türkiye, Orcid: 0000-0003-1319-2614
[2]Süleyman Demirel Üniversitesi, Biyoloji, Isparta, Türkiye, Orcid: 0000-0002-7016-6896

Özet

20. yüzyılın ortalarından beri avlanma, habitat kaybı ve tarımsal faaliyetlerde kimyasal madde kullanımı gibi sebeplerle kuş popülasyonları önemli ölçüde azalmaktadır. Ülkemizde yaygın olarak görülen Tepeli Toygar (*Galerida cristata*)'ın biyolojisi yeterince araştırılmamıştır. Bu amaçla 2023 yılında Isparta merkezli yapılan çalışmada, farklı çevresel özelliklere sahip dört gözlem istasyonu seçilmiş ve nokta sayım metoduyla biyolojik veriler elde edilmiştir. Türün; alan kullanımı, beslenme, barınma, tür içi ve türler arası ilişkiler, antropolojik etkiler, çevresel kirlilik, tarımsal ekosistemlerdeki faydaları ve popülasyonu tehdit eden faktörler araştırılmıştır. Tohum, tahıl ve omurgasızlarla beslenen örifajik bir türdür, aynı zamanda tarım zararlılarını kontrol altına alarak kimyasal madde kullanımını azaltır. Beslenirken rekabete girmeden yerleşkeye yakın yerlerde üreme ve beslenme davranışları sergiler. Yıl boyunca belirlenen birey sayısı 135'tir ancak bu sayı sezona ve çevresel etkenlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Yerleşim birimleri ve yol kenarında tarımsal faaliyetlere bağlı olarak bu sayı artar. Bu tür, tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından önemli bir biyoindikatör ve biyolojik kontrol ajanı olarak kabul edilir. Türün devamlılığı; habitat parçalanması, farklı amaçlar için tarım alanlarının dönüştürülmesi ve aşırı insektisit, herbisit ve fungusit kullanımı gibi antropojenik faktörlerle tehdit altındadır. Türün devamlılığının sağlanması amacıyla, tarım arazilerinin bozulmadan korunması, vejetasyonda güncel yöntemlerin uygulanması ve kimyasal kullanımının sınırlandırılması gibi stratejilerin uygulanması gerekir. Türün biyolojik gereksinimlerinin kapsamlı bir şekilde anlaşılması, gelecek nesiller için türün hayatta kalmasını sağlayacak etkili koruma stratejilerinin geliştirilmesi gereklidir.

Anahtar kelimeler: *Galerida cristata,* Tepeli Toygar, Ekoloji

Abstract

Since the mid-20th century, bird populations have significantly decreased due to factors such as hunting, habitat loss, and the use of chemicals in agricultural activities. The biology of the Crested Lark (Galerida cristata), commonly found in our country, has not been sufficiently researched. For this purpose, a study was conducted in 2023 in Isparta, selecting four observation stations with different environmental characteristics, and biological data were obtained using the point count method. The study investigated the species' land use, feeding, shelter, intraspecific and interspecific relationships, anthropological effects, environmental pollution, benefits in agricultural ecosystems, and factors threatening its population. It is an euryphagic species that feeds on seeds, grains, and invertebrates, and also reduces the use of chemicals by controlling agricultural pests. It exhibits breeding and feeding behaviors in areas close to settlements without engaging in competition. The number of individuals determined throughout the year is 135, but this number varies depending on the season and environmental factors. This number increases in settlements and along roadsides due to agricultural activities. This species is considered an important bioindicator and biological control agent for the sustainability of agricultural ecosystems. Its survival is threatened by anthropogenic factors such as habitat fragmentation, conversion of agricultural land for various purposes, and excessive use of insecticides, herbicides, and fungicides. To ensure its continued existence, strategies such as protecting agricultural land from degradation, applying current vegetation management practices, and limiting chemical use are necessary. A comprehensive understanding of the species' biological requirements is essential for developing effective conservation strategies that will ensure its survival for future generations.

Keywords: *Galerida cristata,* Crested Lark, Ecology

VARIATION IN SEED MORPHOLOGICAL TRAITS AMONG TAURUS FIR (*Abies cilicica*) POPULATIONS

Fahrettin ATAR[1], Gözde KIYAGAN[2]

[1]Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye, Orcid: 0000-0003-4594-8148

[2]Forest Engineering, Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye, Orcid: 0009-0007-3410-3189

Abstract

Taurus fir (*Abies cilicica*), a major forest tree species naturally distributed in Southern Anatolia in Türkiye, occurs in the Central and Eastern Taurus Mountains and the Anti-Taurus range at elevations of approximately 1200–2000 m. It generally grows on dry calcareous, rocky, and karstic sites and, due to its shade tolerance, constitutes an important component of mixed forests. Determining variation within this species is important for sustainable forestry and the conservation of genetic resources. This study aimed to determine the seed morphological traits of different Taurus fir populations and to reveal inter-population variation based on these traits. Seed samples were collected from seven populations: Adana-Karaisalı, Adana-Pozantı, Alanya-Çukur mevkii, Antalya-Gündoğmuş, Mersin-Bozyazı, Mersin-Gözne, and Isparta-Sütçüler. A total of 3150 seeds were measured, representing 30 seeds from each of 15 trees per population. The evaluated seed traits were seed length (SL), seed width (SW), seed thickness (ST), seed weight (SWe), seed size index (SSi), seed shape (SS), and seed flatness index (SFI). Measurements were performed using a digital caliper with millimetric precision. The data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA), Duncan's multiple range test, correlation analysis, and hierarchical cluster analysis. ANOVA revealed statistically significant differences among populations for all measured parameters at the 99% confidence level. Duncan's test showed that populations formed five groups for SL, SW, SWe, and SFI, and six groups for ST, SSi, and SS. Based on mean values, the highest SL, SW, and SSi values were recorded in the Mersin-Bozyazı population, whereas the lowest SL and SSi values were found in Mersin-Gözne and the lowest SW value in Adana-Karaisalı. The highest ST value was observed in Antalya-Gündoğmuş and the lowest in Adana-Karaisalı. SWe reached its highest value in Isparta-Sütçüler and its lowest in Mersin-Gözne. SS was highest in Adana-Karaisalı and lowest in Mersin-Bozyazı, while SFI was highest in Adana-Pozantı and lowest in Antalya-Gündoğmuş. Correlation analysis revealed a very strong positive relationship between SL and SSi ($r = 0.901$), while strong negative relationships were found between SW and SS ($r = -0.798$) and between ST and SFI ($r = -0.731$). Hierarchical cluster analysis grouped the populations into two main clusters, with Adana-Pozantı and Isparta-Sütçüler, and Adana-Karaisalı and Alanya-Çukurmevkii showing relatively high similarity. These results demonstrate pronounced population-level variation in seed morphology and suggest that such variation should be considered in seed source selection, seedling production, and genetic resource conservation.

Keywords: Diversity, seed traits, population differentiation, Taurus fir

KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN İNSAN SAĞLIĞI VE BESLENME ÜZERİNE ETKİSİ

THE IMPACT OF GLOBAL WARMING AND CLIMATE CHANGE ON HUMAN HEALTH AND NUTRITION

Songül Seyda YILDIRIM[1], Serap TOPRAK DÖŞLÜ[2]

[1]Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Beslenme, Mardin, Türkiye, Orcid: 0009-0000-4269-8409

[2]Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Beslenme, Mardin, Türkiye, Orcid: 0000-0002-5455-8179

Özet

Çevre sorunları insanlığın doğayla etkileşimiyle birlikte ortaya çıkmış, son yüzyıllarda ise küresel ölçekte ciddi bir tehdit haline gelmiştir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği büyük ölçüde insan faaliyetlerinden kaynaklanmakta olup, bu durum çevre bilincinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Eğitim ve devlet politikaları, bireylerde sürdürülebilir yaşam alışkanlıklarının oluşmasına katkı sağlamaktadır.

Küresel ısınma sera gazı artışıyla dünya sıcaklıklarının yükselmesi şeklinde tanımlanırken, iklim değişikliği daha geniş çevresel ve ekosistem dönüşümleri kapsamaktadır. Sanayi Devrimi sonrası artan üretim ve tüketim alışkanlıkları hem çevreyi hem de insan sağlığını olumsuz etkilemiştir. Bu etkiler yalnızca fiziksel sağlıkla sınırlı kalmayıp yaşam kalitesi üzerinde de dolaylı sonuçlar doğurmaktadır.

Bu bağlamda beslenme, hem insan sağlığı hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Sürdürülebilir beslenme; doğal kaynakları koruyan, çevreye düşük zarar veren ve gelecek nesillerin gıda güvenliğini gözeten bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Özellikle bitki temelli beslenme modelleri, hayvansal ağırlıklı diyetlere kıyasla daha düşük karbon ayak izine sahip olup su, toprak ve enerji kullanımını azaltmaktadır. Akdeniz ve benzeri sağlıklı beslenme modellerinin hem hastalık risklerini düşürdüğü hem de çevresel etkileri azalttığı bilinmektedir.

Günümüzde Batı tipi beslenme ve yüksek hayvansal ürün tüketimi çevresel yükü artırırken, bitki ağırlıklı ve dengeli diyetlere yönelim hem bireysel sağlık hem de gezegen sağlığı açısından önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle beslenme alışkanlıklarının sürdürülebilirlik perspektifiyle yeniden düzenlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Küresel ısınma, iklim değişikliği, çevre bilinci, sürdürülebilir beslenme, bitki temelli beslenme

Summary

Environmental problems have emerged with humanity's interaction with nature and have become a serious threat on a global scale in recent centuries. Global warming and climate change are largely caused by human activities, making it imperative to develop environmental

awareness. Education and government policies contribute to the formation of sustainable lifestyle habits in individuals.

Global warming is defined as the rise in global temperatures due to the increase in gren house gases, while climate change encompasses broader environmental and ecosystemic transformations. Increased production and consumption habits after the Industrial Revolution have negatively affected both the environment and human health. These effects are not limited to physical health but also have indirect consequences on the quality of life.

In this context, nutrition plays a critical role in both human health and environmental sustainability. Sustainable nutrition is defined as an approach that protects natural resources, causes low environmental damage, and considers the food security of future generations. Plant-based diets, in particular, have a lower carbon footprint compared to animal-based diets and reduce water, soil, and energy use. Mediterranean and similar healthy diet models are known to both reduce disease risks and minimize environmental impacts.

Today, Western-style diets and high consumption of animal products increase the environmental burden, while a shift towards plant-based and balanced diets is considered an important strategy for both individual health and planetary health. Therefore, restructuring dietary habits from a sustainability perspective is of great importance.

Keywords: Global warming, climate change, environmental awareness, sustainable nutrition, plant-based nutrition

TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE EKOLOJİK DÖNÜŞÜM: AĞIR METAL MORDANLARA ALTERNATİF OLARAK BİYO-MORDANLARIN KULLANIMI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ

ECOLOGICAL TRANSFORMATION IN THE TEXTILE INDUSTRY: THE USE AND SUSTAINABILITY OF BIO-MORDANTS AS AN ALTERNATIVE TO HEAVY METAL MORDANTS

Akın YAVUZ[1], Naime KAPLAN[2], Dilek BÜYÜKBEŞE YAYLA[3], Fatih YAYLA[4]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Kimya, Orcid: 0009-0001-0027-4912

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Kimya, Orcid: 0009-0005-4517-0577

[3]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Kimya, Orcid: 0000-0002-2344-8663

[4]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Biyoloji, Orcid: 0000-0002-6490-6288

Günümüzde tekstil endüstrisi, karmaşık üretim süreçleri ve yüksek kimyasal kullanımıyla küresel ekosistem üzerinde çevresel baskılar kuran sektörlerin başında gelmektedir. Tekstil materyallerinin boyanması çoğu zaman petrokimya bazlı sentetik boyalarla yapılmaktadır. Bu boyaların kimyasal içeriklerinden kaynaklanan mutajenik, alerjik, kanserojen ve çevresel etkiler son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu durum, araştırmacıları çevre dostu ve sürdürülebilir alternatifler geliştirmeye yöneltmektedir.

Bu çalışmada, sektörde boyaların tekstil liflerine bağlanma eğilimini güçlendirmek, rengin sabitlenmesini ve dayanıklılığını artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılan krom, bakır, kobalt ve demir gibi metalik tuzlardan oluşan metalik mordanlara alternatif olarak çevre dostu bitkisel kaynaklı biyo-mordanların (doğal kaynaklı mordan etkili ajanlar) etkinliği ve sürdürülebilirliğinin literatür verileri doğrultusunda kapsamlı biçimde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Çalışma kapsamında, biyo-mordanların kimyasal yapıları ile mordanlama yöntemleri arasındaki ilişki kapsamlı bir şekilde değerlendirilmektedir. Doğal kaynaklı flavonoidler, antrakinonlar ve indigoidler gibi ana pigment gruplarının kimyasal karakteristik özelliklerinin; boyama öncesi (pre), eş zamanlı (meta) ve sonrası (post) mordanlama yöntemleri üzerindeki etkileri analiz edilebilmektedir. Doğal pigmentlerin karakterizasyonunda kullanılan Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi – Diyot Dizi Dedektörü (HPLC-DAD), Sıvı Kromatografisi – Tandem Kütle Spektrometrisi (LC-MS/MS) ve Zayıflatılmış Toplam Yansıma – Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (ATR-FTIR) gibi ileri analitik tekniklerin, bu doğal boyama süreçlerinin bilimsel temelini nasıl güçlendirdiği ve standartlaştırdığı, incelenen çalışmaların ortak paydası olarak vurgulanmaktadır. Ayrıca, literatürde yer alan deneysel veriler karşılaştırılarak, biyo-mordanların renk verimliliği, haslık değerleri ve yıkama dayanımı açısından sentetik alternatiflerle olan rekabet gücü değerlendirilmektedir.

Çalışmanın ekolojik boyutunda ise, atık su yönetimi stratejileri ve ağır metal kirliliğinin minimize edilmesine yönelik geliştirilen analitik yaklaşımlar sentezlenmektedir. Literatürdeki

İndüktif Eşleşmiş Plazma – Optik Emisyon Spektrometrisi (ICP-OES) ve İndüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometrisi (ICP-MS) analiz sonuçları, bitkisel kaynaklı mordanların kullanımının ağır metal yükünü belirgin düzeyde azaltacağını ve su kalitesini iyileştireceğini göstermektedir.

Bu çerçevede, boyaların hem verimli ve etkin bir şekilde elde edilmesi hem de ekolojik olarak sürdürülebilir kalkınmanın üç ana ilkesi olan kâr (ekonomik), insan (sosyal) ve gezegen (çevresel) eksenleri doğrultusunda kullanımının dikkate alınması, bu alandaki çalışmaların yönlendirilmesinde temel bir yaklaşım oluşturmaktadır. Bu yaklaşımla, biyo-mordan kullanımının çevre kirliliğinin azaltılmasına katkı sağladığı, yeşil kimya ilkeleriyle uyumlu olduğu ve sürdürülebilir bir ekosistemi desteklediği görülmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmanın tekstil endüstrisinde kimyasal kullanımını optimize etmeye yönelik mevcut bilgi birikimini organize etmesi ve gelecekteki araştırmalar için bütüncül bir yol haritası sunması öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Boyalar, Yeşil Kimya, Ekolojik Sürdürülebilirlik, Tanenler, Biyo-mordanlar.

Today, the textile industry is one of the leading sectors, placing environmental pressures on the global ecosystem due to its complex production processes and high chemical usage. Textile materials are often dyed using petrochemical-based synthetic dyes. The mutagenic, allergenic, carcinogenic, and environmental effects caused by the chemical composition of these dyes have become a significant area of research in recent years. This situation has driven researchers to develop environmentally friendly and sustainable alternatives.

In this study, the aim is to comprehensively evaluate the efficacy and sustainability of environmentally friendly plant-based bio-mordants (naturally derived mordant-effective agents) as alternatives to metallic mordants composed of metal salts such as chromium, copper, cobalt, and iron, which are widely used in the industry to enhance the tendency of dyes to bind to textile fibers and to improve color fixation and durability.

Within the scope of this study, the relationship between the chemical structures of bio-mordants and mordanting methods is comprehensively evaluated. The effects of the chemical characteristics of major pigment groups—such as naturally derived flavonoids, anthraquinones, and indigoids—on pre-, meta-, and post-dyeing mordanting methods can be analyzed. It is emphasized as a common thread among the studies that advanced analytical techniques used to characterize natural pigments, such as High Performance Liquid Chromatography – Diode Array Detector (HPLC-DAD), Liquid Chromatography – Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS), and Attenuated Total Reflectance – Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR), strengthen and standardize the scientific foundation of these natural dyeing processes. Additionally, by comparing experimental data from the literature, the competitive strength of bio-mordants against synthetic alternatives is evaluated in terms of color yield, fastness values, and wash resistance.

In the ecological dimension of the study, analytical approaches developed for wastewater management strategies and minimizing heavy metal pollution are synthesized. Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) and Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (ICP-MS) analysis results in the literature indicate that the use of plant-derived mordants will significantly reduce heavy metal loads and improve water quality.

In this context, ensuring that dyes are produced efficiently and effectively, while also considering their use in alignment with the three core principles of ecologically sustainable development—profit (economic), people (social), and planet (environmental)—constitutes a

fundamental approach to guiding research in this field. With this approach, it is observed that the use of bio-mordants contributes to reducing environmental pollution, aligns with the principles of green chemistry, and supports a sustainable ecosystem. Consequently, this study is expected to organize the existing body of knowledge aimed at optimizing chemical use in the textile industry and provide a comprehensive roadmap for future research.

Keywords: Natural Dyes, Green Chemistry, Ecological Sustainability, Tannins, Bio-mordants

HABİTAT VE ORGAN FARKLILIKLARININ *HEDYSARUM CANDİDİSSİMUM*'UN ANTİOKSİDAN POTANSİYELİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Tuğçe VAROL[1], Samed ŞİMŞEK[2], Müjgan ELVEREN[3], Etem OSMA[4]

[1]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Ekoloji, Erzincan, Türkiye

Orcid: 0000-0001-7027-462X

[2]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Doğal ürünler kimyası, Erzincan, Türkiye

Orcid: 0000-0001-8451-3425

[3] Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Ekoloji, Erzincan, Türkiye

Orcid: 0000-0002-6110-8088

[4]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Ekoloji, Erzincan, Türkiye

Orcid: 0000-0002-5250-8194

Özet

Erzincan ili, topoğrafik çeşitliliği, karasal iklim koşulları ve farklı jeolojik birimleri ile zengin bitki çeşitliliğine sahip Türkiye'nin önemli ekolojik alanlarından biridir. Bu çevresel heterojenlik, bitkilerde sekonder metabolit sentezi ve buna bağlı biyolojik aktivite düzeylerini etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, Erzincan'ın Kemah ilçesinin farklı lokasyonlarından (Acemoğlu, Dumanlı, Soğuksular, Yahşiler-1 ve Yahşiler-2) toplanan *Hedysarum candidissimum* türünün çiçek, yaprak, gövde ve kök organlarında antioksidan kapasite ile toplam fenolik (TPC) ve toplam flavonoid (TFC) içeriklerindeki değişimler ölçülmüştür. Antioksidan aktivite $DPPH^{\cdot}$ serbest radikal giderme aktivitesi ve FRAP indirgeme gücü yöntemleriyle; sekonder metabolit düzeyleri ise spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Bulgular, Trolox, BHA, BHT ve askorbik asit standartları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Sonuçlar hem lokasyon hem de bitki organ bazında belirgin farklılıklar olduğunu göstermiştir. Genel olarak yaprak örnekleri, diğer organlara kıyasla daha yüksek fenolik ve flavonoid içerik ile daha güçlü antioksidan aktivite sergilemiştir. Özellikle Soğuksular lokasyonundan elde edilen yaprak ekstraktının en yüksek toplam fenolik madde miktarına (220,84 mg GAE/g^{-1}ekstre) ve yüksek indirgeme gücüne (192,47 mg TE/g^{-1} ekstre) sahip olduğu belirlenmiştir. Dumanlı yaprak örneği ise düşük $DPPH^{\cdot}$ IC_{50} değeri (7,83 µg/mL^{-1}) ile güçlü radikal giderici etki göstermiştir. Çiçek örneklerinde antioksidan aktivite orta düzeyde seyrederken, Yahşiler-2 lokasyonu çiçek ekstraktı yüksek fenolik (83,06 mg GAE/g^{-1} ekstre) ve flavonoid (28,81 mg QE/g^{-1} ekstre) içeriği ile öne çıkmıştır. Gövde örneklerinde özellikle Soğuksular ve Acemoğlu lokasyonları dikkat çekici sonuçlar verirken, kök örnekleri genel olarak en düşük antioksidan kapasiteye sahip organ olarak belirlenmiştir.

Fenolik ve flavonoid bileşik miktarları arttıkça $DPPH^{\cdot}$ ve FRAP sonuçların olumlu yönde etkisi, sekonder metabolitler ile antioksidan aktivite arasında pozitif ilişki bulunduğunu göstermektedir. Çalışma bitkinin yetiştiği mikro habitat koşullarının metabolit üretimi üzerinde belirleyici olduğunu sergilemektedir. Benzer şekilde kök, gövde, çiçek ve yaprak organları arasında gözlenen farklılıklar, bitki bünyesinde savunma ve fizyolojik işlevlere bağlı

olarak organa özgü spesifik bir metabolik dağılımı olduğunu düşündürmektedir. Yaprakların fotosentetik aktiviteye ve çevresel stres faktörlerine daha fazla maruz kalması nedeniyle koruyucu fenolik bileşikleri daha yoğun sentezlediği düşünülmektedir. Sonuç olarak, *H. candidissimum*' un biyokimyasal profili üzerinde habitat farklılıkları ve organ spesifik metabolik düzenlenmelerinde önemli rol oynamaktadır. Özellikle yaprak ekstraktları, doğal antioksidan kaynakları açısından dikkat çekici potansiyel sunmaktadır. Ayrıca Erzincan'ın özgün ekolojik yapısında gelişen *Hedysarum candidissimum*'un özellikle yaprak organında yoğunlaşan doğal antioksidan bileşikleri ile farmasötik ve fonksiyonel gıda uygulamaları açısından dikkate değer tıbbi potansiyele sahip yerel bir bitki kaynağı olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Antioksidan aktivite, Erzincan, *Hedysarum candidissimum*.

Catalpa bignonioides'in FİTOKİMYASAL ZENGİNLİĞİ VE BİYOLOJİK AKTİVİTE POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRMESİ

EVALUATION OF THE PHYTOCHEMICAL RICHNESS AND BIOLOGICAL ACTIVITY POTENTIAL OF *Catalpa bignonioides*

İbrahim Eyüp ERBİL[1], Dilek BÜYÜKBEŞE YAYLA[2], Fatih YAYLA[3]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Kimya, Orcid: 0009-0007-5911-5418

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Kimya, Orcid: 0000-0002-2344-8663

[3] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Biyoloji, Orcid: 0000-0002-6490-6288

Özet

Catalpa bignonioides Walter (Güney Katalpası), Bignoniaceae familyasına ait yaprak döken bir ağaç türü olup Kuzey Amerika kökenlidir ve günümüzde Türkiye dahil pek çok ülkede peyzaj bitkisi olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu çalışmada *C. bignonioides* bitkisinin meyve kısımları üç anatomik bölüme (dış kılıf, iç kılıf ve tohum) ayrılmış; Soxhlet ve maserasyon olmak üzere iki farklı ekstraksiyon yöntemi ile metanol ve hekzan çözücüleri kullanılarak on iki farklı ekstrakt elde edilmiştir. Elde edilen ekstraktların fenolik bileşik profilleri LC-MS/MS, yağ asidi profilleri ise GC-MS yöntemiyle belirlenmiştir.

LC-MS/MS analizleri sonucunda yirmi fenolik bileşiğin varlığı araştırılmış ve bunlardan on üçü en az bir örnekte tespit edilmiştir. En baskın fenolik bileşik olarak 4-hidroksibenzoik asidin tohum metanol Soxhlet (TMS) ekstraktında 6,10 mg/g kuru ağırlık düzeyine ulaştığı belirlenmiştir. Diğer kısımlarında da yüksek oranda 4-hidroksibenzoik asit bulunduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla farklı fenolik bileşiklerden protokateşik asit (TMS: 4,42 mg/g), vanilik asit (TMS: 2,72 mg/g), hidroksisinnamik asit (İKMS; iç kabuk metanol Soxhlet: 0,73 mg/g) ve fumarik asit (İKMS: 0,65 mg/g) izlemiştir. Flavonoid sınıfından slimarin, kuersetin, luteolin, kaempferol ve naringenin düşük miktarlarda da olsa birden fazla örnekte saptanmıştır.

GC-MS analizlerinde hekzan ekstraktlarında toplam on altı yağ asidi bileşiği tespit edilmiştir. Linoleik asidin tüm örneklerde baskın yağ asidi olduğu belirlenmiş; tohumda ise literatürde antikanser etkisiyle öne çıkan konjuge linolenik asit izomeri (CLnA; metil 9-cis,11-trans,13-trans-oktadekatrienoat) %37,21 gibi dikkat çekici bir oranda bulunmuştur.

Literatür verileriyle karşılaştırmalı değerlendirme yapıldığında, tespit edilen fenolik bileşiklerin (4-hidroksibenzoik asit, protokateşik asit, vanilik asit) güçlü antioksidan, antikanser ve anti-inflamatuar aktivitelere sahip olduğu bilinmektedir. Bu bulgular, *C. bignonioides* meyvesinin, özellikle tohum kısmının, biyoaktif bileşikler bakımından zengin bir kaynak olduğuna işaret etmekte ve bitkinin farmasötik, kozmetik ve gıda endüstrilerinde değerlendirilme potansiyelini gündeme getirmektedir.

Anahtar Sözcükler: *Catalpa bignonioides*, fitokimya, biyolojik aktivite potansiyeli, Soxhlet, maserasyon.

Abstract

Catalpa bignonioides Walter (Southern Catalpa) is a deciduous tree species belonging to the Bignoniaceae family. Native to North America, it is widely used today as a landscape plant in many countries, including Turkey. In this study, the fruit parts of *C. bignonioides* were divided into three anatomical sections (outer bark, inner bark, and seed); twelve different extracts were obtained using methanol and hexane solvents via two different extraction methods: Soxhlet and maceration. The phenolic compound profiles of the obtained extracts were determined by LC-MS/MS, while the fatty acid profiles were determined by GC-MS.

As a result of LC-MS/MS analyses, the presence of twenty phenolic compounds was investigated, and thirteen of these were detected in at least one sample. It was determined that 4-hydroxybenzoic acid, the most abundant phenolic compound, reached a level of 6.10 mg/g dry weight in the seed methanol Soxhlet (SMS) extract. High levels of 4-hydroxybenzoic acid were also detected in other parts. This was followed, in order, by other phenolic compounds: protocatechuic acid (SMS: 4.42 mg/g), vanillic acid (SMS: 2.72 mg/g), hydroxycinnamic acid (IBMS; inner bark methanol Soxhlet: 0.73 mg/g), and fumaric acid (IBMS: 0.65 mg/g). Among the flavonoid class, silymarin, quercetin, luteolin, kaempferol, and naringin were detected in multiple samples, even if at low amounts.

In GC-MS analyses, a total of sixteen fatty acid compounds were identified in the hexane extracts. Linoleic acid was determined to be the predominant fatty acid in all samples; in the seeds, however, the conjugated linoleic acid isomer (CLnA; methyl 9-cis,11-trans,13-trans-octadecatrienoate), which is highlighted in the literature for its anticancer effects, was found at a notable concentration of 37.21%.

When evaluated in comparison with literature data, the identified phenolic compounds (4-hydroxybenzoic acid, protocatechuic acid, vanillic acid) are known to possess strong antioxidant, anticancer, and anti-inflammatory activities. These findings indicate that the fruit of *C. bignonioides*, particularly the seed portion, is a rich source of bioactive compounds and highlight the plant's potential for application in the pharmaceutical, cosmetic, and food industries.

Keywords: *Catalpa bignonioides*, phytochemistry, biological activity potential, Soxhlet, maceration

Trichoderma spp. UYGULAMALARININ FUSARİUM HASTALIK ETMENİNE KARŞI SÜRDÜRÜLEBİLİR VE ÇEVRE DOSTU MÜCADELEDEKİ ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF Trichoderma spp. APPLICATIONS IN SUSTAINABLE AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CONTROL OF FUSARIUM DISEASE AGENT

Semiha YÜCEER

Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü, Fitopatoloji, Adana, Türkiye

Orcid: 0000-0002-6780-7162

Özet

Biyoçeşitlilik kaybı ve çevresel bozulma, günümüzde sürdürülebilir tarım sistemlerinin karşı karşıya olduğu en önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Toprak kaynaklı fungal patojenler arasında en önemlilerinden birisi olan *Fusarium* türleri, çok sayıda bitki türüne hastalıklara neden olmasının yanında oluşturdukları mikotoksinlere neden olarak hem ürün verimini hem de ekosistem dengesini olumsuz yönde etkilemektedir. Kimyasal pestisitlere dayalı geleneksel mücadele yöntemleri ise çevre kirliliğine, hedef dışı organizmaların zarar görmesine ve biyoçeşitliliğin azalmasına yol açmaktadır. Bu nedenle çevre dostu ve sürdürülebilir alternatif yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Biyolojik mücadele etmenleri arasında yer alan *Trichoderma* türleri, sahip oldukları çok yönlü etki mekanizmaları sayesinde önemli bir potansiyel sunmaktadır. *Trichoderma* spp.; mikoparazitizm, besin ve alan için rekabet, antifungal metabolit üretimi ve bitkilerde sistemik direnç indüksiyonu gibi mekanizmalar aracılığıyla patojenleri baskılamakta, aynı zamanda bitki gelişimini teşvik ederek toprak sağlığını iyileştirmektedir. Bu etkileşimler, yalnızca *Fusarium* kaynaklı hastalıkların kontrol altına alınmasına katkı sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda toprak mikrobiyal biyoçeşitliliğinin korunmasına ve ekolojik dengenin sürdürülmesine de destek olmaktadır. Bu çalışma, *Fusarium–Trichoderma* etkileşiminin biyoçeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir çevre yönetimi açısından ekolojik rolünü değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Güncel literatür ve son araştırma bulguları ışığında, biyolojik mücadele stratejilerinin kimyasal girdi kullanımını azaltarak ekosistem direncini artırmadaki katkıları ortaya konulmaktadır. Sonuç olarak, *Trichoderma* temelli biyolojik mücadele yaklaşımları, bitki patojenlerinin olumsuz etkilerini azaltırken biyoçeşitliliğin korunmasına ve çevresel sürdürülebilirliğe önemli katkılar sunmaktadır. Gelecek çalışmaların, bu stratejilerin saha koşullarındaki etkinliğinin optimize edilmesine ve uzun vadeli ekolojik etkilerinin daha iyi anlaşılmasına odaklanması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Biyoçeşitlilik, Sürdürülebilir tarım, Biyolojik mücadele, *Fusarium*, *Trichoderma*

Abstract

Biodiversity loss and environmental degradation are among the most significant problems facing sustainable agricultural systems today. *Fusarium* species, among the most important soil-borne fungal pathogens, cause diseases in numerous plant species and negatively affect crop yield and ecosystem balance by producing mycotoxins. Traditional control methods based on chemical pesticides lead to environmental pollution, harm to non-target organisms, and biodiversity reduction. Therefore, environmentally friendly and sustainable alternative approaches are needed. *Trichoderma* species, among the biological control agents, offer significant potential due to their multifaceted mechanisms of action. *Trichoderma* spp. suppress pathogens through mechanisms such as mycoparasitism, competition for nutrients and space, production of antifungal metabolites, and induction of systemic resistance in plants, while also improving soil health by promoting plant growth. These interactions not only contribute to the control of *Fusarium* related diseases but also support the conservation of soil microbial biodiversity and the maintenance of ecological balance. This study aims to evaluate the ecological role of the *Fusarium–Trichoderma* interaction in biodiversity conservation and sustainable environmental management. In light of current literature and recent research findings, the contributions of biological control strategies to increasing ecosystem resilience by reducing chemical input use are revealed. In conclusion, *Trichoderma* based biological control approaches significantly contribute to biodiversity conservation and environmental sustainability while reducing the negative impacts of plant pathogens. Future studies should focus on optimizing the effectiveness of these strategies under field conditions and gaining a better understanding of their long-term ecological impacts.

Keywords: *Biodiversity*, Sustainable agriculture, Biological control, *Fusarium*, Trichoderma

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDE KUŞ FANASININ BELİRLENMESİ

Murat KÜTÜK[1], Ayça DEMİRCİ[2], Müslüm SARIKAYA[3]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0000-0003-1567-1002

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0009-0006-0498-8329

[3] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0009-0001-2273-406X

Özet

Bu çalışma Gaziantep Üniversitesi Merkez Kampüsü içerisinde 2025 yılı Mart- Ekim ayları içerisinde haftanın belirli günlerinde gözlemler yapılarak kuş faunası belirlenmiştir. Kampüs içi ve etrafı özellikle hayvanat bahçesi ile bitişik olmasına bağlı olarak ağırlıklı çam ağaçları olmak üzere farklı ağaç formunda bitkiler mevcut olup bu ortamlarda üreme, beslenme ve diğer amaçlarla gelen kuşların gözlemleri yapılarak fotoğrafları çekilmiştir.

Araştırma alanı, habitat özelliklerini ve türlerin kampüs içindeki dağılımını ortaya koymak amacıyla

6 örnekleme karesine bölünmüştür. Nokta gözlemi ve hat boyu gözlemi yöntemleri birlikte uygulanmış; gözlemler kuşların biyolojik aktivitelerinin en yüksek olduğu 06:00–10:00 saatleri ile akşam saatlerinde yoğunlaştırılmıştır. Tür ve birey tespitinde 10×42 büyütmeli dürbün, Canon 700D fotoğraf makinesi ile 100–600 mm teleobjektif ve ses kayıt ekipmanı kullanılmıştır. Tür teşhisi yapılırken türlerin dış morfolojik özellikleri ile uçuş silueti ve vokalizasyon gibi davranışsal karakterleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda 14 farklı takıma ait toplam 85 kuş türü tespit edilmiştir. Passeriformes (ötücü kuşlar) takımı 60 türle dominant grubu oluştururken bu takım içinde Muscicapidae (11 tür), Sylviidae (8 tür) ve Fringillidae (7 tür) olup en fazla tür içeren familyalar olarak belirlenmiştir.

Toprak, 2004 yılında yapmış olduğu çalışmada Gaziantep ilinden 92 türün tespit edildiğini bildirmiştir. Kütük ve ark., 2018 Gaziantep İli Biyoçeşitlilik Envanter ve İzlenme Projesi kapsamında Gaziantep ilinden 238 kuş türünün varlığını bildirmişlerdir. Gaziantep kampüs sınırları içinde 85 türün tespit edilmiş olması bugüne kadar tespit edilmiş kuş faunası dikkate alındığında Gaziantep ilinin tamamına kıyasla kampüs alanı gibi küçük bir alanda bu kadar türün tespit edilmiş olması dikkat çekecek derecede önemlidir. Bu sonuç, kentsel yaşam içerisinde insan faktörü ve avcı baskısının hissedilmediği kampüs alanının kuşlar için bir beslenme ve üreme alanı olarak tercih edilmelerinden kaynaklanmaktadır. Kampüs alanlarında gün içerisinde çok sayıda insanın bulunmuş olmasına rağmen kuşlar açısından herhangi bir tehdit oluşturmadığı kampüs içerisinde 85 türün tespit edilebilmesinden anlaşılabilmektedir. Ayrıca kampüse bitişik olarak yer alan hayvanat bahçesi ve ormanlık alanın bulunuyor olması da kuş türlerinin bu alanı tercih etmelerinde önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Tespit edilen türlerin büyük çoğunluğu IUCN kriterlerine göre 'Düşük Riskli' (LC) kategorisinde değerlendirilmekle birlikte Şah Kartal (*Aquila heliaca*) ve Üveyik

(*Streptopelia turtur*) 'Hassas' (VU) kategorisinde yer almaktadır. Bu bulgu, kampüsün yalnızca yerel değil küresel ölçekte tehlike altındaki türler için de stratejik bir geçiş ve konaklama noktası işlevi gördüğünü kanıtlamaktadır. Gaziantep Üniversitesi bünyesinde gerçekleştirilen ilk kapsamlı bir proje olup belirli aralıklarla benzer şartlarda yapılacak olan benzer projelerle kampüsteki kuş faunasının tespiti sayesinde yıllara göre değerlendirme ve kıyaslamaların yapılmasının önemli olacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Avifauna, Kuş Faunası, Gaziantep Üniversitesi Kampüsü, Kampüs Biyoçeşitliliği

BİYOTİK STRES KOŞULLARINDA BİTKİLERİN FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL SAVUNMA YANITLARI

Şehribanur MARANGOZ[1], Feyza Nur KAFADAR[2], Ali Mücahit GÜNEŞ[3], Canan CAN[4]

[1]Gaziantep Üniversitesi-Fen Edebiyat Fakültesi- Biyoloji-Gaziantep-Türkiye
Orcid:0009-0007-6094-896X
[2]Gaziantep Üniversitesi-Fen Edebiyat Fakültesi- Biyoloji-Gaziantep-Türkiyae
Orcid:0000-0003-3544-2979
[3]Gaziantep Üniversitesi-Fen Edebiyat Fakültesi- Biyoloji-Gaziantep-Türkiye
Orcid:0009-0003-9996-1898
[4]Gaziantep Üniversitesi- Fen Edebiyat Fakültesi -Biyoloji-Gaziantep-Türkiye
Orcid:0000-0002-0473-1914

ÖZET

Bitkiler doğal yaşam ortamlarında patojen mikroorganizmalar, böcekler, nematodlar ve otçul hayvanlar gibi birçok biyotik stres faktörü ile karşılaşmaktadır. Biyotik stres, canlı kaynaklı bu etkenlerin bitkiler üzerinde oluşturduğu olumsuz etkileri ifade etmektedir ve bitkilerin büyüme, gelişme ve veriminde önemli kayıplara neden olmaktadır. Bitkiler pasif hareketli organizmalar oldukları için bu tür stres faktörlerine karşı çeşitli savunma mekanizmaları geliştirmiştir. Bu savunma mekanizmaları çoğunlukla hormon sinyalleri ve biyokimyasal değişimler aracılığıyla gerçekleşmektedir. Biyotik stres durumunda bitkiler hem hücresel hem de metabolik düzeyde çeşitli tepkiler oluşturmaktadır. Bu süreçte salisilik asit, jasmonik asit ve etilen gibi bitki hormonları savunma tepkilerinin düzenlenmesinde önemli rol oynayan sinyal moleküllerdir. Patojen saldırısı gerçekleştiğinde bitki hücre zarında bulunan reseptör proteinler patojenlere ait moleküler yapıları tanıyarak savunma sinyallerini başlatmaktadır. Bu tanıma mekanizmasının ardından hücre içinde sinyal iletim yolları aktive olur ve savunma ile ilişkili genlerin ekspresyonu artar. Savunma yanıtının erken aşamalarında reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi artar ve bu durum patojen gelişiminin sınırlandırılmasına yardımcı olurken savunma sinyallerinin güçlenmesini sağlar. Aynı zamanda hücre çeperinin kalınlaşması, lignin birikimi ve kalloz depozisyonu gibi yapısal değişimler patojenin bitki dokularında yayılmasını engelleyebilmektedir. Bitkilerde hormonlar arasında karmaşık bir etkileşim bulunmaktadır. Salisilik asit ile jasmonik asit sinyal yolları çoğu zaman birbirini baskılayıcı etki gösterebilir. Bu durum bitkinin karşılaştığı stres türüne göre en uygun savunma stratejisinin oluşturulmasına yardımcı olur. Bu hormonlar arasındaki denge bitkinin savunma başarısını belirleyen önemli faktörlerden biridir.

Peroksidaz, polifenol oksidaz ve fenilalanin amonyum liyaz gibi savunma enzimleri ile fenolik bileşikler, flavonoidler ve fitoaleksinler gibi ikincil metabolitler bitki savunmasında önemli görevler üstlenmektedir.
Biyotik stres sırasında antioksidan savunma sistemi de aktif hale gelir. Süperoksit dismutaz, katalaz ve askorbat peroksidaz gibi enzimler reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerini azaltarak hücresel hasarın sınırlandırılmasına yardımcı olur. Bu mekanizmaların anlaşılması tarımsal üretimde hastalıklara dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının desteklenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyotik stres, Bitki savunma mekanizmaları, Antioksidan enzimler, Bitki hormonları, Patojen etkileşimi

PHYSİOLOGİCAL AND BİOHEMİCAL DEFENSE RESPONSES OF PLANTS UNDER BİOTİC STRESS CONDİTİONS

Şehribanur MARANGOZ[1], Feyza Nur KAFADAR[2], Ali Mücahit GÜNEŞ[3], Canan CAN[4]

[1]Gaziantep Üniversitesi-Fen Edebiyat Fakültesi- Biyoloji-Gaziantep-Türkiye

Orcid: 0009-0007-6094-896X

[2]Gaziantep Üniversitesi-Fen Edebiyat Fakültesi- Biyoloji-Gaziantep-Türkiyae

Orcid:0000-0003-3544-2979

[3]Gaziantep Üniversitesi-Fen Edebiyat Fakültesi- Biyoloji-Gaziantep-Türkiye

Orcid:0009-0003-9996-1898

[4]Gaziantep Üniversitesi- Fen Edebiyat Fakültesi -Biyoloji-Gaziantep-Türkiye

Orcid:0000-0002-0473-1914

ABSTRACT

Plants encounter many biotic stress factors in their natural habitats, such as pathogenic microorganisms, insects, nematodes, and herbivores. Biotic stress refers to the negative effects of these living-derived factors on plants, causing significant losses in growth, development, and yield. Since plants are passively mobile organisms, they have developed various defense mechanisms against these stressors. These defense mechanisms mostly occur through hormone signaling and biochemical changes. In biotic stress situations, plants generate various responses at both the cellular and metabolic levels. In this process, plant hormones such as salicylic acid, jasmonic acid, and ethylene are signaling molecules that play an important role in regulating defense responses. When a pathogen attack occurs, receptor proteins located in the plant cell membrane recognize the molecular structures of the pathogens and initiate defense signals. Following this recognition mechanism, intracellular signaling pathways are activated, and the expression of defense-related genes increases. In the early stages of the defense response, the production of reactive oxygen species (ROS) increases, which helps to limit pathogen development while strengthening defense signals. At the same time, structural changes such as cell wall thickening, lignin accumulation, and callose deposition can prevent the spread of pathogens in plant tissues. There is a complex interaction between hormones in plants. Salicylic acid and jasmonic acid signaling pathways often have a mutually inhibitory effect. This helps the plant to develop the most appropriate defense strategy according to the type of stress it encounters. The balance between these hormones is one of the important factors determining the success of the plant's defense.

Defense enzymes such as peroxidase, polyphenol oxidase, and phenylalanine ammonium lyase, as well as secondary metabolites such as phenolic compounds, flavonoids, and phytoalexins, play important roles in plant defense.

The antioxidant defense system also becomes active during biotic stress. Enzymes such as superoxide dismutase, catalase, and ascorbate peroxidase help limit cellular damage by reducing the harmful effects of reactive oxygen species. Understanding these mechanisms is of great importance in agricultural production for the development of disease-resistant plant varieties and the support of sustainable agricultural practices.

Keywords: Biotic stress, Plant defense mechanisms, Antioxidant enzymes, Plant hormones, Pathogen interaction

CAFFEİN ETKEN MADDESİNİN ARPA BİTKİSİNİN ANTİOKSİDAN KAPASİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Nisa DEMİR[1], Tuğçe VAROL[2], Müjgan ELVEREN[3], Etem OSMA[4]

[1]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Ekoloji, Erzincan, Türkiye

[2]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Ekoloji, Erzincan, Türkiye

Orcid:0000-0001-7027-462X

[3]Üyesi, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Ekoloji, Erzincan, Türkiye

Orcid:0000-0002-6110-8088

[4]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Ekoloji Erzincan, Türkiye

, Orcid:0000-0002-5250-8194

Özet

Caffein kahve, çay ve enerji içecekleri gibi tüketimi yaygın olan ve insan faaliyetleri sonucu su kaynakları ile tarımsal alanlara taşınabilme potansiyeline sahip önemli bir mikrokirleticidir. İlaç etken maddeleri ve kişisel bakım ürünlerinin bitkiler üzerindeki etkileri son yıllarda giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, farklı caffein konsantrasyonlarının arpa bitkisinde (*Hordeum vulgare* L.) toplam fenolik madde içeriği, antioksidan kapasite ve demir indirgeme antioksidan gücü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kontrol grubu ile 25 ml, 50 ml ve 125 ml olmak üç farklı caffein konsantrasyonu bitkilere uygulanmış; bitkiler hasat edildikten sonra toplam fenolik içerik (TPC), DPPH serbest radikal temizleme aktivitesi ve FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) analizleri gerçekleştirilmiştir. DPPH sonuçları incelendiğinde, artan caffein konsantrasyonuna bağlı olarak DPPH değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Kontrol grubunda 1068,91 µg/mL olarak ölçülen DPPH değeri, uygulama gruplarında sırasıyla 862,82, 789,14 ve 691,29 µg/mL'ye gerilemiştir. Düşük DPPH değerinin güçlü antioksidan aktiviteye işaret ettiği dikkate alındığında, caffein uygulamalarının arpa bitkisinde antioksidan yanıtı konsantrasyona bağlı olarak artırdığı anlaşılmaktadır. Toplam fenolik içerik ve FRAP değerlerinde de benzer şekilde konsantrasyona bağlı artış gözlenmiştir. Fenolik içerik kontrol grubunda 12,65 mg GAE/g iken 125 ml konsantrasyonunda16,43 mg GAE/g'ye yükselmiştir. Benzer eğilim FRAP değerlerinde de görülmüş; kontrol grubundaki 19,38 mmol Fe^{2+}/g değeri, en yüksek konsantrasyon uygulamalarında 26,75 mmol Fe^{2+}/g'ye ulaşmıştır. Bu sonuçlar, caffein maruziyetinin arpa bitkisinde oksidatif stres oluşturduğu ve bunun sekonder metabolit sentezini, özellikle fenolik bileşiklerin birikimini uyardığını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, caffeinin arpa bitkisinde antioksidan savunma mekanizmalarını aktive ettiği ve bu etkinin konsantrasyona bağlı olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. İlaç etken maddeleri ve kişisel bakım ürünleri (PPCPs) kapsamında değerlendirilen caffein kirliliğinin tarımsal ekosistemler üzerindeki olası etkileri açısından, elde edilen bu bulguların önemli veriler sunduğu düşünülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalar ışığında, farklı caffein konsantrasyonları ve uzun süreli maruziyetlerin bitkisel sistemler üzerindeki etkilerinin karşılaştırmalı ve bütüncül yaklaşımlarla ele alınması önem arz etmektedir.

Anahtar kelimeler: Caffein, DPPH, fenolik madde, FRAP, PPCPs

BIODIVERSITY CONSERVATION: INTEGRATING *IN SITU* AND *EX SITU* STRATEGIES FOR ECOLOGICAL SUSTAINABILITY

Sabina JAFARZADEH[1], Bahar MAMMADOVA[2], Elman ISKENDER[3]

[1] Azerbaijan, Karabakh University, Bakü, Azerbaijan, Orcid: 0000-0002-1649-9542,

[2] Institute of Ecology, National Aerospace Agency of the Ministry of Defense Industry of Azerbaijan, Bakü, Azerbaijan, Orcid: 0009-0000-1103-3199,

[3]Institute of Botany, Public Legal Entity Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Bakü, Azerbaijan, Orcid: 0009-0004-0790-2784,

Biodiversity, encompassing the diversity of genes, species, and ecosystems, is a fundamental component of life on Earth and plays a critical role in maintaining ecological balance and supporting human well-being. It underpins essential ecosystem services such as nutrient cycling, soil formation, water purification, pollination, and climate regulation. However, global biodiversity is under increasing threat due to anthropogenic pressures including habitat destruction, climate change, pollution, overexploitation, and the spread of invasive species. These challenges have intensified the need for effective conservation strategies that not only prevent species extinction but also maintain ecological integrity and resilience.

Two primary approaches to biodiversity conservation are *in situ* conservation and *ex situ* conservation, which together form a comprehensive framework for protecting biological diversity. *In situ* conservation refers to the protection of species within their natural habitats, allowing them to evolve and interact within their ecosystems. This approach is essential for preserving ecological processes, species interactions, and natural evolutionary dynamics. Protected areas such as national parks, wildlife reserves, and biosphere reserves are key tools for implementing *in situ* conservation, ensuring the long-term survival of species in their native environments.

In contrast, *Ex situ* conservation involves the preservation of species outside their natural habitats in controlled environments such as seed banks, botanical gardens, zoological parks, and gene banks. This method serves as a safeguard against extinction, particularly for endangered species whose natural habitats are severely degraded or no longer viable. *Ex situ* strategies also facilitate research, breeding programs, and reintroduction efforts aimed at restoring species to the wild. An integrated approach combining both in situ and ex situ methods is essential for effective biodiversity conservation. While *in situ* conservation maintains ecosystem functionality and ecological relationships, *ex situ* conservation provides critical backup support and enhances genetic resource preservation. The conservation of genetic diversity is particularly important, as it enables species to adapt to environmental changes and ensures long-term survival.

In conclusion, safeguarding biodiversity requires coordinated, science-based strategies that incorporate ecological, genetic, and socio-economic considerations. By integrating conservation approaches and promoting sustainable resource management, it is possible to protect biodiversity and ensure the continued provision of ecosystem services for future generations.

Keywords: Biodiversity conservation, Ecosystem resilience, Genetic diversity.

DİKİLİTAŞ GÖLETİ SEDİMENTİNDE METAL(LOİD) VE MİKROPLASTİKLERİN BİRLEŞİK KİRLİLİĞİ

Şeyda FİKİRDEŞİCİ ERGEN

Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye

Orcid: 0000-0002-4623-1256

Özet

Tatlı su ekosistemlerinde sedimentler metal(loid)ler ve mikroplastikler için önemli alıcı ortamlar olup bu kirleticilerin birlikte bulunurlukları ve çevresel davranışları kritik rol oynamaktadır. Dikilitaş Göleti çevresinde belirlenen 12 istasyondan alınmış sediment örneklerinde 9 metal(loid) (Ms) (Al, As, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd ve Pb) ve mikroplastik (MP) tespiti, dağılımı, olası kaynakları ve ekolojik etkileri araştırılmıştır. Ms'lerin en fazla birikim gösterdiği istasyonların 1., 2. ve 12. İstasyonlar olduğu tespit edilmiştir. Al (48.9–65.3) ve Fe (19.7–58.1) sedimentteki baskın elementler olarak belirlenmiş olup, sırasıyla Ni (10.5–19.3), Cr (10.3–15.3), Zn (9.0–17.9), Cu (6.4–15.4), As (3.9–8.4), Cd (1.6–4.2) ve Pb (1.5–5.1) izlemiştir. Toplam 55 adet MP tespit edilmiş olup boyutları 0.33 ile 4.234 mm arasında değişkenlik göstermiştir. Baskın MP şekli fibril olup en fazla şeffaf ve siyah renkli MP'ler gözlenmiştir. Baskın polimer türü polietilen (PE) %47,27 tespit edilmiş olup bunu sırasıyla poliamid (PA) (%16.36), stiren-etilen-bütilen (SEB) (%16.36), EVA (%5.45), HDPE (%5.45), LDPE (%3.64), poliüretan (%3.64) ve etilen propilen kopolimer (%1.82) izlemiştir. Hem Ms hem de MP tür ve şeklinden yola çıkarak göletin tarımsal plastik ve pestisit etkisi altında olduğu söylenebilir. Korelasyon analizine göre Fe-Cd, Cr-Cu, Cu,Zn ve Cr-Zn arasına anlamlı yüksek pozitif ilişkilerin olduğu gözlenmektedir. Temel bileşen analizi sonucuna göre toplam varyansın %71,38'ini açıklayan tek bir ana bileşen gözlenmiş olup Ms'lerin tek bir kaynak tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. EDX analizleri MP yüzeylerinde Cr(%51.8–55.1), Co (%11.9–12.5), Fe (%10.1–10.3) ve Zn (%4.2–5.8) bulunduğunu göstermiştir. Cr ve Co pestisit, Zn hem gübre hem pestisit, Fe ise jeojenik kaynaklı olabilir. Aynı zamanda bir veya birkaçı üretilen plastikte katkı maddesi olarak bulunup hali hazırda MP'nin yapısında da bulunuyor olabilir. Zn özellikle PE üretimlerinde ısı ve UV stabilizatörü, pigment katkısı, Fe özellikle kahverengi, kırmızı, sarı tonlarında pigment katkısı olarak kullanılıyor olması sadece çevresel adsorbsiyona bağlı olmadığı aynı zamanda katkı maddeleriyle ilişkili olacağına işarettir.

Anahtar kelimeler: Mikroplastik yüzeyi, sediment, polimer, metal(loid)

COMBINED POLLUTION OF METAL(LOID)S AND MICROPLASTICS IN THE SEDIMENT OF DİKİLİTAŞ LAKE

Abstract

In freshwater ecosystems, sediments are important receiving environments for metal(loid)s and microplastics, and their co-occurrence and environmental behavior play a critical role in assessing ecological risks. In this study, the occurrence, distribution, potential sources, and ecological effects of 9 metal(loid)s (Ms) (Al, As, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb) and microplastics (MPs) were investigated in sediment samples collected from 12 stations around Dikilitaş Pond. The highest accumulation of Ms was detected at Stations 1, 2, and 12. Al (48.9–65.3) and Fe (19.7–58.1) were identified as the dominant elements in the sediment, followed by Ni (10.5–19.3), Cr (10.3–15.3), Zn (9.0–17.9), Cu (6.4–15.4), As (3.9–8.4), Cd (1.6–4.2), and Pb (1.5–5.1), respectively. A total of 55 MPs were detected, with particle sizes ranging from 0.33 to 4.234 mm. Fibers were the dominant MP shape, while transparent and black particles were the most frequently observed color groups. Polyethylene (PE) was identified as the dominant polymer type (47.27%), followed by polyamide (PA) (16.36%), styrene-ethylene-butylene (SEB) (16.36%), EVA (5.45%), HDPE (5.45%), LDPE (3.64%), polyurethane (3.64%), and ethylene propylene copolymer (1.82%). Based on both the type and morphology of Ms and MPs, it can be suggested that the pond is under the influence of agricultural plastics and pesticide inputs. According to correlation analysis, strong significant positive relationships were observed between Fe–Cd, Cr–Cu, Cu–Zn, and Cr–Zn. Principal component analysis revealed a single main component explaining 71.38% of the total variance, indicating that Ms accumulation is largely controlled by one dominant source. EDX analyses showed the presence of Cr (51.8–55.1%), Co (11.9–12.5%), Fe (10.1–10.3%), and Zn (4.2–5.8%) on MP surfaces. Cr and Co may be associated with pesticides, Zn may originate from both fertilizers and pesticides, while Fe may be mainly derived from geogenic sources. At the same time, one or more of these elements may already be present within the plastic structure as additives used during polymer production. Zn is commonly used in PE production as a heat and UV stabilizer and as a pigment additive, while Fe is widely used as a pigment additive, especially for brown, red, and yellow color tones. This indicates that the presence of these elements on MP surfaces may not be solely related to environmental adsorption, but may also be associated with the intrinsic additives of the plastic material itself.

Keywords: : Microplastic surface, sediment, polymer, metal(loid)

CİPROFLOXACİNİN ARPA (*Hordeum vulgare* L.) VE BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.)'DA ANTİOKSİDAN KAPASİTE VE FENOLİK İÇERİK ÜZERİNE ETKİLERİ

Nisa DEMİR[1], Tuğçe VAROL[2], Müjgan ELVEREN[3], Etem OSMA[4]

[1]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Ekoloji, Erzincan, Türkiye

[2]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Ekoloji, Erzincan, Türkiye

, Orcid: 0000-0001-7027-462X

[3]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Ekoloji, Erzincan, Türkiye

Orcid: 0000-0002-6110-8088

[4]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Ekoloji, Erzincan, Türkiye

Orcid: 0000-0002-5250-8194

Özet

İlaç etken maddeleri ve kişisel bakım ürünleri (PPCPs) tarımsal sulama ve toprak aracılığıyla bitki yetiştirme ortamlarına taşınabilen ve giderek artan öneme sahip mikro kirleticiler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, geniş spektrumlu antibiyotiklerden biri olan Ciprofloxacinin farklı konsantrasyonlarının buğday (*Triticum aestivum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkilerinde antioksidan kapasitesi (DPPH), toplam fenolik madde içeriği ve demir indirgeme antioksidan gücü (FRAP) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kontrol grubu ile 25 ml, 50 ml ve 125 ml olmak üç farklı Ciprofloxacin konsantrasyonu uygulanmış; bitkiler hasat edildikten sonra DPPH serbest radikal giderme aktivitesi, toplam fenolik içerik (TPC) ve FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) değerleri analiz edilerek değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, konsantrasyona bağlı olarak her iki bitki türünde de DPPH değerlerinin belirgin bir şekilde azaldığını göstermiştir. Kontrol grubunda arpa için 1177,27 µg/mL olan DPPH değeri, 125 ml konsantrasyonunda 254,23 µg/mL'ye; buğdayda ise 1252,42 µg/mL'den 350,58 µg/mL'ye düşmüştür. DPPH değerlerindeki bu azalma, serbest radikal giderme aktivitesindeki artışla ilişkili olup, Ciprofloxacin uygulamalarının bitkilerde antioksidan kapasiteyi arttırdığını göstermektedir. Toplam fenolik içerik ise konsantrasyona bağlı olarak belirgin bir şekilde artış göstermiştir. Arpada kontrol grubundaki 11,06 mg GAE/g değeri 125 ml dozunda 31,32 mg GAE/g'ye, buğdayda ise 10,32 mg GAE/g'den 25,24 mg GAE/g'ye yükselmiştir. Benzer sonuçlar FRAP değerlerinde de görülmüş olup en yüksek doz uygulamalarında arpa 37,32, buğday ise 35,15 mmol Fe^{2+}/g değerine kadar artmıştır.

Sonuç olarak, Ciprofloxacinin her iki tahıl bitkisinde de oksidatif strese yol açtığı ve bu stresin fenolik bileşik birikimi ile antioksidan savunma mekanizmalarının uyarılmasıyla dengelendiği belirlenmiştir. Bu bulgular, İlaç etken maddeleri ve kişisel bakım ürünleri kaynaklı çevresel kirleticilerin tarımsal üretim üzerindeki olası etkilerinin anlaşılması açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Arpa, buğday Ciprofloxacin, DPPH, fenolik madde

TRIACONTANOLÜN FARKLI ARPA GENOTİPLERİNDE KURAKLIK STRESİNE KARŞI ROLÜ: FİZYOLOJİK VE ENZİMATİK YANITLAR

THE ROLE OF TRIACONTANOL IN DIFFERENT BARLEY GENOTYPES AGAINST DROUGHT STRESS: PHYSIOLOGICAL AND ENZYMATIC RESPONSES

Selma TABUR[1], Serkan ÖZMEN[2]

[1]Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Biyoloji Bölümü, Isparta, Türkiye Orcid: 0000-0001-9458-944X

[2]Süleyman Demirel Üniversitesi Atayalvaç Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü İlk ve Acil Yardım Programı, Isparta, Türkiye

Orcid: 0000-0003-4376-5866

Özet

Kuraklık, tek yıllık ve çok yıllık tarım ürünlerinin verimini olumsuz etkileyerek gıda güvensizliğini ve ekonomik istikrarsızlığı artırmaktadır. Değişen iklim koşullarıyla beraber kuraklığın daha sık ve daha şiddetli hale gelmesi beklenmekte olup, bu durumun tarımsal, çevresel ve hidrolojik sistemler üzerindeki etkilerinin de artacağı öngörülmektedir. Triakontanol (TRIA), çeşitli bitki türlerinde doğal olarak bulunan ve epikutiküler mumların bir bileşeni olan bir maddedir. Uzun zincirli bir primer alkol olan TRIA, özellikle stres koşulları altında bitki büyümesi üzerinde geniş kapsamlı olumlu etkiler gösteren bir büyüme düzenleyicisi olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, kuraklık toleransları bakımından farklılık gösteren iki arpa çeşidinde (*Hordeum vulgare* cv. Bülbül-89 ve *Hordeum vulgare* cv. Burakbey), polietilen glikol 6000 (PEG6000) ile indüklenen kuraklık stresi koşulları altında, ekzojen TRIA uygulamasının (10 µM) ardından fizyolojik parametrelerde ve biyokimyasal enzim aktivitelerinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, kuraklık stresinin arpa çeşitleri üzerinde hem morfofizyolojik özellikler hem de biyokimyasal enzim aktiviteleri açısından olumsuz etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, kuraklık stresi altında ekzojen TRIA uygulaması, her iki çeşitte de çoğu morfolojik ve fizyolojik özellikte iyileşmelere yol açtı. İncelenen biyokimyasal enzim aktiviteleri sonucuna bakıldığında kuraklık stresi altında TRIA uygulaması sonrasında prolin, total protein ve malondialdehit (MDA) miktarlarında Bülbül'de azalma, Burakbey'de bir artış ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte aynı şartlarda askorbat peroksidaz (APX) ve süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktiviteleri her iki çeşitte de artarken, katalaz (CAT) enzim aktivitesi azalmıştır. Sonuç olarak, TRIA'nın kuraklık stresi altında stresin etkisini hafifletici etkiler ortaya koyduğu ve bu etkinin uygulandığı bitki çeşidine bağlı olarak farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bülbül çeşidinde TRIA kuraklık stresinde sınırlı bir koruyucu etki gösterirken, Burakbey çeşidinde stres toleransını artırdığı ve böylece genotipe özgü farklı yanıtların ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından sağlanan Doktora Sonrası Araştırma Programı (DOSAP) kapsamında desteklenmiştir.

Anahtar kelimeler: Arpa, Biyokimyasal enzim aktivitesi, Kuraklık stresi, Morfofizyolojik etki, Triakontanol, Total protein.

Abstract

Drought increases food insecurity and economic instability, because of negatively impacting the yields of annual and perennial crops. With changing climate conditions, drought is expected to become more frequent and severe, and this is predicted to increase their impact on agricultural, environmental, and hydrological systems. Triacontanol (TRIA) is a substance that occurs naturally in various plant species and is a component of epicuticular waxes. TRIA, a long-chain primary alcohol, stands out as a growth regulator exhibiting wide-ranging positive effects on plant growth, particularly under stressful conditions. In this study, changes in physiological parameters and biochemical enzyme activities were investigated following the exogenous TRIA application (10 µM) under drought stress conditions induced by polyethylene glycol 6000 (PEG6000) in two barley cultivars (*Hordeum vulgare* cv. Bülbül-89 and *Hordeum vulgare* cv. Burakbey), which differ in their drought tolerance. The findings reveal that drought stress has negative effects on barley varieties in terms of both morphophysiological characteristics and biochemical enzyme activities. However, the exogenous TRIA application under drought stress led to improvements in most morphophysiological traits in both cultivars. Based on the results of the examined biochemical enzyme activities, a decrease in Proline, Total Protein, and Malondialdehyde (MDA) levels was observed in Bülbül, while an increase was observed in Burakbey after TRIA application under drought stress. Additionally, under the same conditions, ascorbate peroxidase (APX) and superoxide dismutase (SOD) enzyme activities increased in both cultivars, while catalase (CAT) activity decreased. In conclusion, it was determined that TRIA exhibits mitigating effects under drought stress, and that this effect varies depending on the plant variety to which it was applied. While TRIA showed limited protective effect against drought stress in the Bülbül variety, it was found to increase stress tolerance in the Burakbey variety, thus leading to different genotype-specific responses.

This study was supported by the Postdoctoral Research Program provided by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Süleyman Demirel University.

Keywords: Barley, Biochemical enzyme activity, Drought stress, Morphophysiological effect, Total protein, Triacontanol.

Draba bruniifolia subsp. *olympica* (Sibth. ex DC.) Coode & Cullen TOHUMLARINDA FARKLI SICAKLIK VE ORTAM KOŞULLARININ ÇİMLENME VE FİDE GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Betülnur ÖZEL[1], Betül AKIN[2]

[1]Betülnur ÖZEL, Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Kütahya, Türkiye, Orcid: 0009-0005-0988-3342

[2]Betül AKIN, Dumlupınar Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Kütahya, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2325-7496

Özet

Bu çalışmada, Brassicaceae familyasına ait çok yıllık, otsu ve yastık formunda *Draba bruniifolia* subsp. *olympica* (Sibth. ex DC.) Coode & Cullen taksonuna ait tohumların 15 °C, 25 °C ve *in vitro* MS (Murashige ve Skoog) ortamı olmak üzere farklı sıcaklık ve ortamlarda çimlenme davranışı incelenmiştir. Doğal olarak moloz, yamaç ve kayalık alanlarda, 1200–2900 m yükseltiler arasında yayılış gösteren bu taksonun çimlenme hızı indeksi (GSI), ortalama çimlenme süresi (MGT) ve çimlenme yüzdesi ile kök ve sürgün gelişimi değerlendirilmiştir. Bu parametrelere ek olarak tohumların en ve boy ölçümleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, en yüksek çimlenme hızı (GSI) 15 °C sıcaklıkta, en düşük ortalama çimlenme süresi (MGT) ise 25 °C'de belirlenmiştir. Bu durum, düşük sıcaklıkta çimlenmenin daha yüksek oranda ancak daha geç gerçekleştiğini, yüksek sıcaklıkta ise çimlenmenin daha hızlı olduğunu göstermektedir. MS ortamında çimlenme daha düşük ve daha yavaş seyretmiştir. Çimlenme yüzdesi açısından değerlendirildiğinde, 15 °C'de yaklaşık %90 ile en yüksek değerin elde edildiği gözlemlenmiştir. Kök ve sürgün gelişimi incelendiğinde, çevresel koşulların fide gelişimini doğrudan etkilediği gözlenmiştir. MS ortamında çimlenen tohumların kök ve sürgün uzunlukları diğer ortamlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Tohumların en ve boy ölçümleri mikroskobik inceleme ile ölçülmüş, 100 tohuma ait ağırlık da hesaplanmıştır. Sonuç olarak, çimlenme ve fide gelişimi üzerinde sıcaklık ve ortam koşullarının etkileri olduğu belirlenmiş olup, optimum koşulların değişkenlik gösterebileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: ***Draba bruniifolia* subsp. *olympica*, Çimlenme, Fide Gelişimi, *In vitro*, Sıcaklık Etkisi**

1. Giriş

Brassicaceae (veya Cruciferae) familyası, Antarktika hariç tüm kıtalarda yerli türlerle temsil edilen geniş bir bitki familyasıdır. De Jussieu tarafından 1789 yılında Cruciferae olarak ilk kez tanınmasından bu yana, Brassicaceae 235 yıldır iyi tanımlanmış bir familya olarak kabul edilmektedir (Jussieu, 1789; Al-Shehbaz, 2025). Brassicaceae üyeleri genellikle dört taç yapraklı çiçekleri, tetradinam stamen yapısı ve silikula/siliqua tipindeki meyveleri ile karakterize edilmektedir (Zhu vd.,2023). Bu familya, çok sayıda tarla ve bahçe bitkisi, süs bitkisi ile bitkisel yağlar ve baharatlar açısından ekonomik öneme sahiptir. Ayrıca dünya genelinde yaygın veya zararlı olarak kabul edilen yaklaşık 130 kozmopolit yabancı ot türünü de içermektedir. Brassicaceae familyası 357 cins ile yaklaşık 4158 tür içermekte olup bu

türlerin yarısından fazlası 14 cinste toplanmıştır. Familya içerisinde özellikle yüksek dağ ve soğuk iklim koşullarına uyum sağlamış cinsler dikkat çekmektedir. Dünya genelinde yaklaşık 400 türü bulunan *Draba* L., Brassicaceae familyasının en büyük cinsidir (Yaşayacak ve Çakmak, 2025). Cinsin üyeleri çoğunlukla Kuzey Yarımküre'de; özellikle Arktik, Subarktik, Alpin ve Subalpin bölgelerde yayılış gösterir (Al-Shehbaz, 2018; BrassiBase, 2024). Bununla birlikte bazı türlerin yayılış alanları Güney Amerika And Dağları'nın yüksek kesimlerini de kapsayacak şekilde genişlemiştir (Al-Shehbaz vd., 2010). Cinsin üyeleri, ekstrem iklim koşullarına dayanıklılıkları ve yüksek rakımlı habitatlara adaptasyonları göz önünde bulundurulduğunda, ekolojik açıdan önemli taksonlar arasında değerlendirilmektedir. Çalışmaya söz konusu olan *Draba bruniifolia* subsp. *olympica* alt türü, Brassicaceae familyasına ait, çok yıllık, otsu ve yastık formunda gelişen bir bitkidir. Mart–Temmuz ayları arasında çiçek açmakta ve genellikle molozlu, kayalık alanlar ile dağ yamaçlarında, 1200–2900 metre yükseltiler arasında yetişmektedir. Ülkemizde özellikle 37° doğu boylamının batısında; Kuzeybatı, Batı, Güneybatı, Güney ve Orta Batı Anadolu bölgelerinde dağınık yayılış göstermektedir. Tür Türkiye dışında Kafkasya'da doğal olarak yayılış göstermektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin dağ florasının karakteristik elemanlarından biri olan *Draba bruniifolia* subsp. *olympica*, yüksek rakımlı habitatlara adaptasyonu ve sınırlı yayılışı nedeniyle floristik açıdan önem taşıyan taksonlar arasında bulunmaktadır. Bu çalışmada, *Draba bruniifolia* subsp. *olympica* alt türüne ait tohumların farklı sıcaklık koşulları ve *in vitro* kültür ortamındaki çimlenme davranışlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Draba bruniifolia subsp. *olympica* taksonuna ait bitki örnekleri ve tohumlar, Kütahya İline ait Biyolojik Çeşitlilik Envanter ve İzleme projesi kapsamında, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü ve üniversitemiz arasındaki "Kütahya İli Flora (Damarlı Bitkiler) ve Habitat/Ekosistem İzlenme" protokolü kapsamında Kütahya ve Uşak il sınırları arasında bulunan, 2312 m yüksekliğe sahip Murat Dağı'nın alpin ve subalpin bölgelerinden 2025 yılı Temmuz ayında toplanmıştır. Toplanan bitkinin teşhisi Dr. Öğr. Üyesi Ece Gökçe Çakır DİNDAR (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü) tarafından yapılmış, bitki örneği oda sıcaklığında kurutulmuş, kuruyan tohumlar ışık ve nem almayan serin ortamda deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere saklanmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Çimlenme Parametreleri

Tohumların çimlenme davranışlarının belirlenmesi amacıyla üç farklı koşul uygulanmıştır: 15 °C ve 25 °C sabit sıcaklık ortamları ile *in vitro* Murashige ve Skoog (MS) besin ortamı. Bu uygulamalar, çimlenme sürecinin sıcaklığa ve kültür ortamına bağlı olarak gösterdiği değişimin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini sağlamıştır. Tohum yüzey sterilizasyonu amacıyla tohumlar %30'luk çamaşır suyu çözeltisinde 20 dakika bekletilmiş, ardından steril saf su ile yıkanmıştır. Sterilizasyon işlemlerinin ardından tohum ekimleri steril kabin altında gerçekleştirilmiştir. Çimlenme denemelerinde kullanılan beherler ve filtre kâğıtları otoklavda sterilize edilmiş, *in vitro* çalışmalar için hazırlanan MS besin ortamı ise tamamen steril koşullarda oluşturulmuştur. 25 °C sıcaklık uygulamaları bitki büyütme odasında gerçekleştirilirken, 15 °C sıcaklık uygulamaları soğutmalı inkübatör içerisinde yürütülmüştür. *In vitro* koşullarda ise tohumlar steril MS besin ortamında izlenmiştir. Çimlenme kriteri olarak radikulanın çıkışı esas alınmıştır (Haluskova vd., 2009). Elde edilen veriler doğrultusunda aşağıda verilen formüller kullanılarak çimlenme hızı indeksi (GSI), ortalama çimlenme süresi (MGT) ve çimlenme oranları (%G) belirlenmiştir (Maguire, 1962; Ellis ve Roberts, 1981; Manmathan ve Lapitan, 2013)

$$GSI = \sum \frac{G_t}{T_t}$$

G_t: belirli bir gündeki çimlenen tohum sayısı

T_t: ekimden itibaren geçen gün sayısı

$$G(\%) = \frac{G}{N} \times 100$$

G: toplam çimlenen tohum sayısı

N: toplam ekilen tohum sayısı

$$MGT = \frac{\sum(n_i t_i)}{\sum n_i}$$

n_i: belirli zamanda çimlenen tohum sayısı

t_i: çimlenme için geçen süre (gün)

2.2.2. Fide Gelişimlerinin Değerlendirilmesi

Çimlenme denemeleri sonucunda gelişen fidelerde kök ve sürgün uzunlukları, milimetrik cetvel yardımıyla ve steril kabin içerisinde en uzun kök esas alınarak ölçülmüştür.

2.2.3. Tohum Ölçümleri

Tohumların en ve boy ölçümleri Olympus SZX9 stereo mikroskobu ve Olympus EP50 dijital mikroskop kamerası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tohum ağırlık ölçümleri ise Shimadzu ATX224 Analytical Balance kullanılarak yapılmıştır.

2.2.4. İstatistiksel Analizler

Deneylerden elde edilen verilerin istatistiksel analizi, JMP 6 (SAS Institute) programı kullanılarak yapılmıştır. Farklı sıcaklık ve ortam uygulamalarının *Draba bruniifolia* subsp. *olympica* tohumlarının çimlenme, sürgün ve kök gelişim parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Uygulama ortalamaları arasındaki farklılıkların önem düzeyinin belirlenmesinde Tukey HSD çoklu karşılaştırma testi kullanılmış olup istatistiksel olarak anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

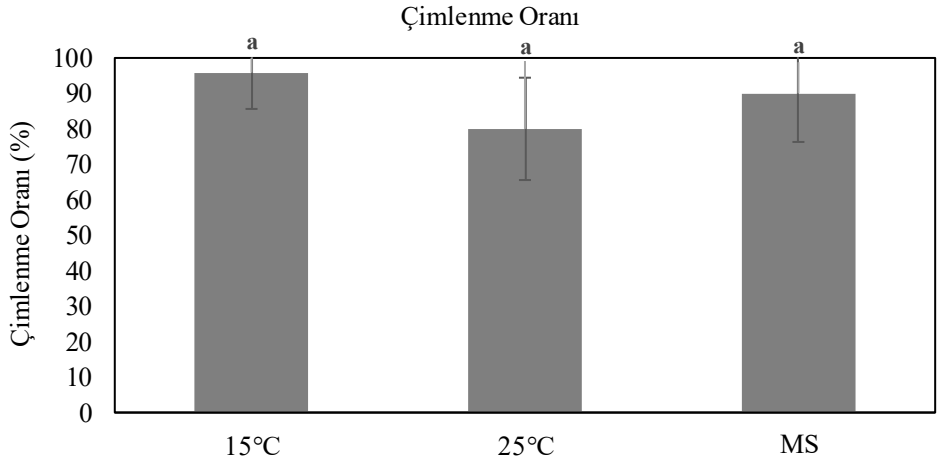
3. Bulgular

3.1. Çimlenme Parametreleri

Çalışma kapsamında, *Draba bruniifolia* subsp. *olympica* tohumlarının farklı besin ortamlarındaki çimlenme oranları ve bu ortamlara verdikleri fizyolojik yanıtlar incelenmiştir. Yapılan denemelerde, 15 °C ve 25 °C sıcaklık koşullarında MS besin ortamındaki gelişim performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

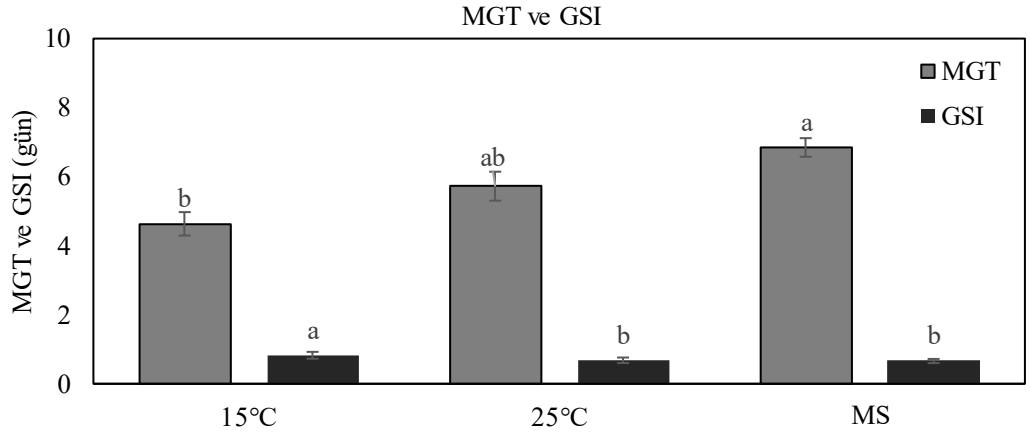
Draba bruniifolia subsp. *olympica* tohumlarının farklı ortam koşullarındaki çimlenme yüzdeleri değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama çimlenme oranı %95,83 ile 15°C sıcaklık uygulamasında saptanmıştır. Bu uygulamayı %90,00 ile MS ortamı takip ederken, en düşük çimlenme oranı %87,50 ile 25 °C uygulamasında belirlenmiştir. Ayrıca, 15 °C uygulamasında minimum çimlenme oranının %75, maksimum çimlenme oranının ise %100 olduğu görülmüştür. Benzer şekilde MS ortamında çimlenme değerleri %75–100 arasında değişiklik göstermiştir. 25 °C uygulamasında da minimum ve maksimum çimlenme değerleri sırasıyla

%75 ve %100 olarak belirlenmesine rağmen, standart sapma değerinin daha yüksek olması bu sıcaklıkta çimlenme performansının daha değişken olduğunu ortaya koymuştur. Bu farklılıklar gözlemlenmesine karşın ANOVA testi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Farklı sıcaklık ve ortam uygulamalarının çimlenme yüzdesi üzerine etkisi

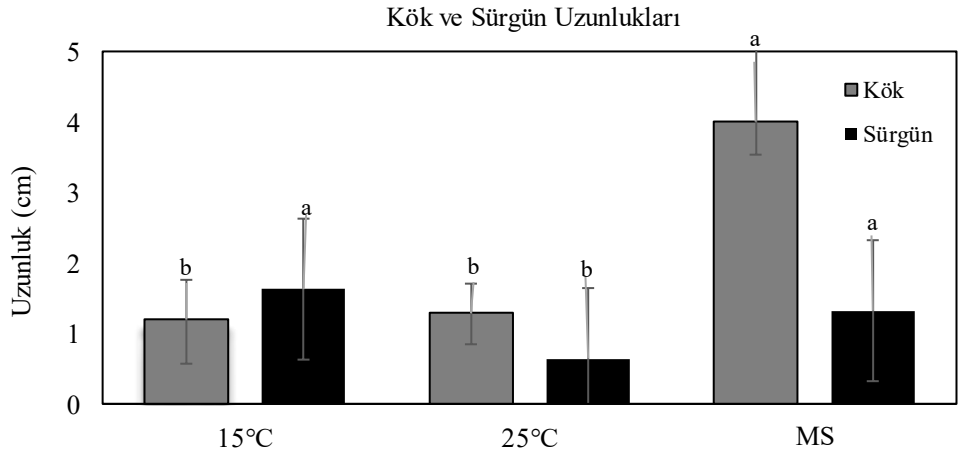
Denemeye alınan farklı sıcaklık ve ortam uygulamalarının MGT ve GSI değerleri üzerindeki etkileri incelendiğinde, MGT ortalamalarının 4,63±0,91 ile 6,85±0,41 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. En düşük MGT değeri 4,63±0,91 ile 15°C ortamında elde edilirken, en yüksek değer 6,85±0,41 ile MS ortamında kaydedilmiştir. Buna karşılık GSI ortalamalarının 0,60±0,08 ile 0,82±0,10 aralığında değiştiği saptanmıştır. En yüksek GSI değeri 0,82±0,10 ile 15°C ortamında gözlenirken, en düşük değer 0,60±0,08 ile 25°C ortamında belirlenmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, MGT bakımından en iyi performansın 15 °C sıcaklık ortamında, en düşük performansın ise MS ortamında gerçekleştiği görülmüştür. GSI açısından ise en iyi sonucun 15 °C ortamında elde edildiği, en düşük performansın ise 25 °C ortamında ortaya çıktığı belirlenmiştir. Tukey-HSD testi sonuçlarına göre 15 °C ve MS ortamlarının farklı istatistiksel gruplarda yer aldığı, 25 °C ortamının ise her iki grupla benzer özellik gösterdiği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, 15°C ortamının çimlenme performansı bakımından daha başarılı sonuç verdiğini ortaya koymuştur. GSI değerleri bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($F = 6.4828$, $p = 0.0255$). Benzer şekilde MGT değerleri açısından değerlendirildiğinde de anlamlı farklılık tespit edilmiştir ($F = 12.9002$, $p = 0.0045$). (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Farklı sıcaklık ve ortam uygulamalarının ortalama çimlenme süresi (MGT) ve çimlenme hızı indeksi (GSI) üzerine etkisi.

3.2. Fide Gelişiminin Değerlendirilmesi

Denemeye alınan farklı ortamların kök ve sürgün uzunlukları üzerindeki etkileri incelendiğinde, kök uzunluğu ortalamalarının 1,20 ile 4,01 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. En yüksek kök uzunluğu 4,01±1,80 ile MS ortamında elde edilirken, bunu 1,29±0,42 ile 25°C ortamı; 1,20±0,56 ile 15°C ortamı takip etmiştir. Sürgün uzunluğu bakımından ise en yüksek değer 1,63±0,63 ile 15°C ortamında belirlenmiş, MS ortamında 1,32±0,47 ve 25°C ortamında 0,63±0,44 değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen bulgular, MS ortamının kök gelişimini teşvik ettiğini, buna karşılık 15 °C ortamının sürgün gelişimi bakımından daha başarılı sonuç verdiğini ortaya koymuştur. Kök uzunluğu bakımından en yüksek değer 4,01±1,80 ile MS ortamında elde edilirken, 25°C ve 15°C ortamlarında sırasıyla 1,29±0,42 ve 1,20±0,56 değerleri kaydedilmiştir. Denemeye alınan farklı ortamların kök uzunlukları üzerindeki etkileri incelendiğinde, uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Farklı sıcaklık uygulamalarının kök ve sürgün gelişimi üzerine etkisi

3.3. Tohum Ölçümleri

Tekerrürlere ait en ve boy değerleri incelendiğinde, en ortalamalarının 1,09±0,08 ile 1,15±0,15 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Boy ölçümleri değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama 1,69±0,14 ile birinci tekerrürde belirlenmiş, ikinci ve üçüncü tekerrürlerde

sırasıyla 1,59±0,19 ve 1,54±0,20 değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, tekerrürler arasında en ve boy değerleri bakımından benzer sonuçların gözlendiğini ortaya koymuştur (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: *Draba brunifolia* subsp. *olympica* tohumlarının en ve boy ölçüm değerleri (mm).

Tekerrür	Ortalama tohum en uzunluğu (mm) ± SE	Ortalama tohum boy uzunluğu (mm) ± SE	Tohum maksimum en uzunluğu (mm)	Tohum minimum en uzunluğu (mm)	Tohum maksimum boy uzunluğu (mm)	Tohum minimum boy uzunluğu (mm)
1	1,15 ± 0,14	1,69 ± 0,14	1,31	0,87	1,88	1,37
2	1,15 ± 0,15	1,59 ± 0,19	1,41	0,87	1,84	1,19
3	1,09 ± 0,08	1,54 ± 0,20	1,23	0,96	1,94	1,35

Tekerrürlere ait ortalama tohum ağırlıkları değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama değer ikinci tekerrürde (0,000453 ± 0,000005 g) belirlenirken, birinci ve üçüncü tekerrürlerde sırasıyla 0,000442 ± 0,000004 g ve 0,000443 ± 0,000004 g değerleri elde edilmiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2: *Draba brunifolia* subsp. *olympica* tohumlarının ağırlık ölçüm değerleri (g).

Tekerrür	Ortalama Tohum Ağırlığı (g) ± SE
1	0,000442 ± 0,000004
2	0,000453 ± 0,000005
3	0,000443 ± 0,000004

1. Tartışma

Elde edilen bulgular, düşük sıcaklık koşullarında çimlenmenin daha başarılı gerçekleştiğini ve bu durumun türün doğal ekolojik adaptasyonlarıyla doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. *Draba* cinsi, çoğunlukla yüksek rakımlı, kayalık ve serin habitatlara adapte olmuş taksonları içermektedir. Bu tür habitatlarda yayılış gösteren türler, doğada genellikle düşük sıcaklık periyotlarına maruz kalmakta ve çimlenme süreci çoğunlukla ilkbaharın serin dönemlerinde gerçekleşmektedir. Bu nedenle 15 °C'de gözlenen yüksek çimlenme oranı, türün doğal ekolojik koşullarını yansıtan optimal sıcaklık aralığını işaret etmektedir. Buna karşın 25 °C'de çimlenme oranının düşmesi veya gecikmesi, yüksek sıcaklığın tohum fizyolojisi üzerinde baskılayıcı etki oluşturduğunu düşündürmektedir. Bu durum, türün çimlenme ekolojisinin doğal habitat koşullarıyla güçlü bir uyum içerisinde olduğunu ve sıcaklığın *Draba* tohumlarında çimlenmeyi belirleyen temel çevresel faktörlerden biri olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Literatürde, *Draba* cinsine ait türlerin çimlenme ekofizyolojisi üzerine yapılan çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, Brassicaceae familyasının

diğer üyeleri üzerinden elde edilen veriler önemli ipuçları sunmaktadır. Baskin ve Baskin tarafından yürütülen çalışmada *Leavenworthia* cinsine ait türlerin tohumlarının yaz döneminde dormansi halinde kaldığı ve sonbaharda düşük sıcaklıkların etkisiyle çimlenmeye başladığı ortaya konmuştur (Baskin ve Baskin, 1971). Brassicaceae familyasına ait *Olimarabidopsis pumila* türünde ışık süresi ve sıcaklık değişimlerinin tohum çimlenmesi üzerinde etkili olduğu bildirilmiş, 15–25 °C sıcaklık aralığında ve 8 saatten uzun fotoperiyot koşullarında, çalışmamıza benzer şekilde %75'in üzerinde çimlenme oranı elde edilmiştir (Tang vd., 2009). Dişli ve Nemli (2013) tarafından yapılan bir başka çalışmada, *Sinapis alba* populasyonlarında düşük sıcaklıkların çimlenmeyi olumlu etkilediği bildirilmiş, türe ait bazı populasyonlarda en yüksek çimlenme oranlarının 5–15 °C gibi düşük sıcaklıklarda gözlemlendiği rapor edilmiştir. Yapılan çalışmada, *Sinapis alba* populasyonlarında düşük sıcaklıklarda çimlenmenin daha geç başladığını bildirmiş ancak mevcut çalışmada bunun aksine en yüksek GSI değerinin 15°C'de elde edilmiştir. Bu farklılığın, türler arasındaki ekofizyolojik özelliklerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bulgularımızı destekler nitelikte, Brassicaceae familyasına ait bazı türler üzerinde gerçekleştirilen bir başka çalışmada, sıcaklığın çimlenme performansı ve ortalama çimlenme süresi (MGT) üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Alias vd., 2018). Çalışma sonuçlarımıza benzer olarak, Andreou ve arkadaşlarının *Arabis* türleri (Brassicaceae) üzerine yaptığı araştırmada, tohumların maksimum çimlenme oranının 10-20 °C arasında gerçekleştiği ve ışık gereksiniminin önemli bir dormansi kırma mekanizması olduğu belirtilmiştir (Andreou et al., 2024). Benzer şekilde, Akın ve Kocaçalışkan, Uludağ endemiği olan *Arabis drabiformis* türü üzerinde yürüttükleri *in vitro* çalışmada MS besin ortamının sürgün ve kök gelişimini desteklediğini rapor etmişlerdir (Akın ve Kocaçalışkan, 2011). Diğer yandan, Luo ve ark. (2022) tarafından yapılmış bir diğer çalışmada, *Brassica napus* türünde düşük sıcaklık etkisiyle çimlenme ve fide gelişiminin olumsuz etkilendiğini bildirilmiştir. Bu bulgular, düşük sıcaklığa verilen çimlenme tepkilerinin aynı familyaya ait türler arasında farklılık gösterebildiğini ve sıcaklık toleransının türe özgü fizyolojik özelliklerle ilişkili olabileceğini göstermektedir. *Brassica napus* türünde yapılan bir diğer çalışmada, yüksek sıcaklıkların çimlenmeyi önemli ölçüde etkilememesine karşın fide gelişimini olumsuz etkilediği bildirilmiştir. Araştırmada özellikle kök uzunluğunda azalma ve fide büyümesinde gerileme gözlenmiştir. Çalışmamıza benzer nitelikte, 15°C ve 25°C uygulamaları arasında çimlenme oranı açısından anlamlı bir farklılık belirlenmezken, kök ve sürgün gelişiminin 15°C'de daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, sıcaklığın çimlenmeden ziyade fide gelişim parametreleri üzerinde daha belirgin etkili olabileceğini düşündürmektedir (Zhang vd., 2015). *Brassica napus* türünde, farklı sıcaklıkların fide gelişimi üzerindeki etkisinin incelendiği bir başka çalışmada, kök gelişiminin 20 °C'de, sürgün gelişiminin ise 10–20 °C sıcaklık aralığında daha iyi gerçekleştiği belirtilmiştir (Haj Sghaier vd., 2022). Mevcut çalışmamızda, sürgün gelişiminin 15 °C uygulamasında daha iyi olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu bulgular söz konusu çalışmayı destekler niteliktedir. Akın vd. (2017), Brassicaceae familyasına ait, Uludağ'a endemik bir tür olan *Aubrieta olympica* üzerinde yürüttükleri *in vitro* çalışmada, MS besin ortamının sürgün gelişimi ve kök oluşumunu desteklediği bildirilmiştir ve ayrıca geliştirilen mikroçoğaltım sisteminin, tehdit altındaki endemik bitki türlerinin korunması ve *in vitro* konservasyon çalışmalarında kullanılabileceğini vurgulanmıştır (Akın vd., 2017). Benzer şekilde, Uludağ'dan toplanan ve *Draba brunifolia* türünün de içerisinde yer aldığı farklı Brassicaceae türleri üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, tohumların fizyolojik dormansi gösterdiği, nemli soğuk katlama ile GA_3 uygulamalarının çimlenmeyi artırdığı bildirilmiştir. Çalışmada, düşük sıcaklık uygulamalarının dormansinin kırılması ve bununla birlikte çimlenmenin teşvik edilmesinde etkili olduğu, ayrıca türlerin habitat koşullarına bağlı olarak farklı çimlenme gereksinimlerine sahip olduğu belirtilmiştir (Kırmızı, 2017). *Brassica oleracea* var. *capitata* üzerinde yürütülen *in vitro* çalışmalarda, farklı bitki büyüme düzenleyicileri ile desteklenen

MS besin ortamının kallus oluşumu ile birlikte sürgün ve kök gelişimini teşvik ettiği bildirilmiş olup, bu bulgular, MS temelli *in vitro* kültür ortamlarının Brassicaceae türlerinde fide gelişimi açısından uygun koşullar sağlayabildiğini ortaya koymaktadır (Gerszberg vd., 2015). Benzer şekilde, Gambhir ve ark. tarafından yürütülen bir çalışmada *Brassica oleracea* cv. Pride of India türünde MS besin ortamlarında yüksek sürgün rejenerasyonu ve kök gelişimi elde edildiği belirtilmiş olup, bu bulgular MS *in vitro* kültür ortamlarının Brassicaceae türlerinde fide gelişimi açısından uygun koşullar sağlayabildiğini göstermektedir (Gambhir vd., 2017). Sonuç olarak elde edilen bulgular, bu familyaya ait türlerin genel olarak düşük sıcaklıklarda optimum gelişme gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Bitki materyalinin teşhisini gerçekleştiren Dr. Öğr. Üyesi Ece Gökçe Çakır DİNDAR'a (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü) katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Akın, B., Kocaçalışkan, İ. (2011). *In vitro* propagation of *Arabis drabiformis* Boiss. (Brassiaceae), an endemic rare species of Uludağ Mountain (Bursa-Turkey). *African Journal of Biotechnology*. 10: 18356-18361. https://doi.org/10.5897/AJB11.2831

Akın, B., Kocaçalışkan, İ., Güleryüz, G. (2017). *In vitro* propagation of endemic, endangered plant species *Aubrieta olympica* Boiss. *Dumlupınar University Journal of Science and Technology*. 37: 1-8.

Alias, N. S. B., Billa, L., Muhammad, A., Singh, A. (2018). Priming and temperature effects on germination and early seedling growth of some *Brassica* spp. *Acta Horticulturae*. 1225: 407-414. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1225.57

Al-Shehbaz, I. A. (2018*). "*A monograph of the South American species of Draba (Brassicaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 103(4): 463–590. https://doi.org/10.3417/2018184

Al-Shehbaz, I. A. (2025). The Brassicaceae then and now: Advancements in the past three decades, a review. *Annals of Botany*. Advance online publication. https://doi.org/10.1093/aob/mcaf055

Al-Shehbaz, I. A., Windham, M. D., Elven, R. (2010). *Draba.* In Flora of North America Editorial Committee (Eds.), *Flora of North America* (Vol. 7, pp. 269–347). Oxford University Press.

Andreou, M., Panayiotou, E., Paraskeva-Hadjichambi, D., Kadis, C., Georghiou, K. (2024). Seed germination ecophysiology and conservation of three endemic *Arabis* species (Brassicaceae) of Cyprus. *Acta Physiologiae Plantarum*. https://doi.org/10.1007/s11738-024-03735-8

Baskin, J., Baskin, C. (1971). Germination ecology and adaptation to habitat in *Leavenworthia* spp. (Cruciferae). *The American Midland Naturalist*.

BrassiBase. (2025). *BrassiBase v2*. Heidelberg University. (Erişim Tarihi: 18.05.2026) https://brassibase.cos.uni-heidelberg.de/bb2

Dişli, Ö., Nemli, Y. (2013). Farklı sıcaklıkların bitki eksudatlarının ve bazı yeşil gübrelerin Akhardal'ın (*Sinapis alba* L.) tohum çimlenmesi ve gelişimi üzerine etkileri. *Ege Üniversitesi*. https://acikerisim.ege.edu.tr/xmlui/handle/11454/91861

Edmond, J. B., Drapala, W. J. (1958). The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 71: 428-434.

Ellis, R. H., Roberts, E. H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, 9(2): 373–409.

Gerszberg, A., Hnatuszko-Konka, K., Kowalczyk, T. (2015). *In vitro* regeneration of eight cultivars of *Brassica oleracea* var. *capitata*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. 51(1): 80-87.

Haj Sghaier, A., Tarnawa, Á., Khaeim, H., Kovács, G. P., Gyuricza, C., Kende, Z. (2022). The effects of temperature and water on the seed germination and seedling development of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plants*. 11(21): 2819. https://doi.org/10.3390/plants11212819

Haluskova, L., Valentovicova, K., Huttova, J., Mistrik, I., Tamas, L. (2009). Effect of abiotic stresses on glutathione peroxidase and glutathione S-transferase activity in barley root tips. *Plant Physiology and Biochemistry*. 47: 1069-1074. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2009.08.003

http://194.27.225.161/yasin/tubives/index.php Erişim tarihi: 18.05.2026.

https://bizimbitkiler.org.tr/yeni/demos/technical/ Erişim tarihi: 18.05.2026.

Jussieu, A. L. de. (1789). Genera plantarum: Secundum ordines naturales disposita. Paris: Herissant & Barrois. https://www.biodiversitylibrary.org/

Kırmızı, S. (2017). Dormancy and germination requirements of five species from Brassicaceae. *Journal of the Institute of Science and Technology*. 7(2): 21-29. https://doi.org/10.21597/jist.2017.123

Luo, T., Sheng, Z., Zhang, C., Li, Q., Liu, X., Qu, Z., Xu, Z. (2022). Seed characteristics affect low-temperature stress tolerance performance of rapeseed (*Brassica napus* L.) during seed germination and seedling emergence stages. *Agronomy*. 12(8): 1969. https://doi.org/10.3390/agronomy12081969

Maguire, J. D. (1962). Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*. 2(2): 176-177. https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x

Manmathan, H., Lapitan, N. L. (2013). Measuring germination percentage in wheat. *Bio-protocol,* 3(16), e866. https://doi.org/10.21769/BioProtoc.866

Murashige, T., Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 15(3): 473-497. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Tang, A., Tian, M., Long, C. (2009). Environmental control of seed dormancy and germination in the short-lived *Olimarabidopsis pumila* (Brassicaceae). *Journal of Arid Environments*. 73: 385-388. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.10.001

Yaşayacak, H., Çakmak, M. H. (2025). *Draba lasiocarpa* (Brassicaceae)'nın taksonomik ve koruma durumu ile ekolojik özelliklerine ilişkin bir çalışma: Türkiye florası için yeni bir kayıt. *Anadolu Botanik Dergisi*. 9(2): 169-175. https://doi.org/10.30616/ajb.1758001

Zhang, J., Jiang, F., Yang, P., Li, J., Yan, G., Hu, L. (2015). Responses of canola (*Brassica napus* L.) cultivars under contrasting temperature regimes during early seedling growth stage as revealed by multiple physiological criteria. *Acta Physiologiae Plantarum*. 37:7. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1748-9

Zhu, B., Liang, Z. L., Zang, Y. X., Zhu, Z. J., Yang, J. (2023). Diversity of glucosinolates among common Brassicaceae vegetables in China. *Horticultural Plant Journal*. 9(3): 365-380. https://doi.org/10.1016/j.hpj.2022.08.006

RNA INTERFERENCE BASED CONTROL OF FUNGAL PLANT PATHOGENS: AN ENVİRONMENTALLY SUSTAİNABLE APPROACH

Aydın ATAKAN

Gaziantep University, Araban Vocational School, Department of Plant and Animal Production, Gaziantep, Türkiye

Orcid: 0000-0001-9794-4427

Abstract

Plant diseases are among the major biotic constraints causing significant yield and quality losses in agricultural production. Conventional disease management strategies largely rely on the extensive use of chemical pesticides, which pose serious concerns including environmental pollution, residue accumulation, and the emergence of resistant pathogen populations. Therefore, the development of sustainable and environmentally friendly alternative approaches has become critically important. RNA interference (RNAi) has emerged as a promising next-generation biotechnological strategy for the control of plant diseases due to its high specificity and eco-friendly nature. The RNAi mechanism is based on a natural gene silencing process mediated by double-stranded RNA (dsRNA) molecules that target specific genes in pathogens. In this process, dsRNA is processed by Dicer enzymes into 21–24 nucleotide-long small interfering RNAs (siRNAs), which are subsequently incorporated into the RNA-Induced Silencing Complex (RISC). The siRNA-RISC complex then binds to complementary target mRNA, leading to its degradation and ultimately silencing in the virulence related genes in pathogens. Among RNAi-based strategies, Host Induced Gene Silencing (HIGS) and Spray Induced Gene Silencing (SIGS) have shown considerable potential for sustainable agriculture and ecological plant protection. In recent years, RNAi-based approaches have made significant advances, particularly in the control of fungal plant pathogens. Silencing genes involved in key infection processes such as virulence, sporulation, cell wall biosynthesis, and host penetration has been shown to effectively suppress disease development. RNAi-based approaches represent a highly promising, target-specific, environmentally sustainable strategy for the management of fungal plant pathogens. However, further research is required to improve their practical efficacy under field conditions, particularly through a comprehensive understanding of the underlying mechanisms, including pathogen-host interactions and RNA uptake pathways.

Keywords: biotechnological strategy, dsRNA, virulence gene, gene silencing

BİTKİ-PATOJEN ETKİLEŞİMLERİNDE ÇEVRESEL TETİKLEYİCİLERİN BİTKİ SAVUNMASI ÜZERİNDEKİ ROLÜROLLERİ

Derya İŞLER CEYHAN[1], İbrahim Ethem BULUT[2]

[1] Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep,Türkiye

Orcid: 0000-0002-7871-3647

[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji, Gaziantep,Türkiye

Orcid: 0009-0008-4783-3751

Özet

Bitki-patojen etkileşimlerine ilişkin klasik yaklaşımlar, savunma mekanizmalarını büyük ölçüde patojenin doğrudan tanınması ve buna bağlı olarak aktive edilen immün yanıtlarla açıklamaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda elde edilen bulgular, bitki bağışıklık sisteminin yalnızca patojen varlığına tepki veren bir yapı olmadığını; çevresel ipuçları ile önceden düzenlenebilen esnek bir organizasyon gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle bitkiler, çevresel sinyallere pasif olarak maruz kalan organizmalar değil, bu sinyalleri bütünleştirerek biyotik risk olasılıklarınastres faktörlerine karşı savunma yanıtlarını tepkilerini düzenleyebilen dinamik canlı sistemler olarakta dikkat çekmektedirler. Özellikle nem, sıcaklık, rüzgâr, mekanik stres ve çevresel titreşimler gibi çevresel tetikleyiciler, hem patojenin yayılım kapasitesini hem de bitkinin savunma yanıtlarının etkinliğini eş zamanlı olarak şekillendiren kritik ekolojik faktörlerdir. Bu çevresel değişkenler, enfeksiyon başarısını doğrudan etkileyebileceği gibi, bitkide savunma ile ilişkili gen ekspresyonu, sinyal iletimi ve fizyolojik yanıtların zamanlamasında da belirleyici rol oynayabilmektedir. Bu yaklaşımın en önemli katkılarından biri, bitki hastalıklarının yalnızca patojen yoğunluğu veya konukçu hassasiyeti ile değil, çevresel sinyallerin çoklu ve eşzamanlı etkisiyle şekillenen entegre bir ekolojik süreç olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymasıdır.

Bu kapsamda, bitki patolojisi, ekoloji, biyofizik ve çevresel bilimler arasındaki etkileşimleri bütüncül bir yaklaşımla ele almayı amaçlamaktayız. Bu bakış açısı, tarımsal hastalık yönetimi, sürdürülebilir üretim sistemleri ve iklim değişikliğinin bitki sağlığı üzerindeki etkileri açısından stratejik ve güncel bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Sonuç olarak bu konunun, gerçekleştirilecek olan bilimsel çalışmalara yeni araştırma fikirleri sunacağı öngörülmektedir.

Anahtar kelimeler: Bitki savunması, çevresel tetikleyicilerabiyotik uyarıcılar, bitki-patojen-çevre etkileşimi

TARIMSAL ATIKLARIN SÜRDÜRÜLEBİLİR KULLANIMI VE DEĞERLENDİRME POTANSİYELİ

SUSTAINABLE UTILIZATION AND VALORIZATION POTENTIAL OF AGRICULTURAL WASTE

Sultan TÜRKOĞLU[1], Remziye Aysun KEPEKÇİ[2]

[1]GASKİ, Nanoteknoloji, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-5204-5003

[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye Orcid: 0000-0002-7156-5741

Özet

Nüfus artışıyla birlikte tarımsal üretim hızla artmış ve buna paralel olarak önemli miktarda tarımsal atık oluşmuştur. Küresel ölçekte üretimin yaklaşık %30'u (yılda 2 milyar tonun üzerinde) atığa dönüşürken, Türkiye'de bu miktarın 50–100 milyon ton arasında olduğu tahmin edilmektedir. Bu atıkların önemli bir kısmının yakılması veya doğaya bırakılması çevresel kirliliğe ve biyokaynak kaybına yol açmaktadır. Ancak literatürde bitkisel atıkların enerji üretimi, su arıtımı, biyomalzeme geliştirme ve nanopartikül sentezi gibi alanlarda değerlendirilebildiği belirtilmektedir. Bu çalışmada tarımsal atıkların volarizasyon potansiyelleri değerlendirilerek sürdürülebilir kalkınmadaki katkıları üzerinde durulmuştur. Tarımsal atıklar küresel ölçekte yılda 5 milyar tonun üzerinde üretilmekte olup, biyoyakıt ve biyogaza dönüştürülmeleri durumunda fosil yakıtların yerine kullanılarak sera gazı emisyonlarında %90'a varan azalma sağlanabilmektedir. Günümüzde dünya genelinde 210.000'den fazla biyogaz tesisi faaliyet göstermekte olup, tarımsal atıklar toplam biyoenerji ham maddesinin yaklaşık %19'unu oluşturmaktadır. Özellikle Hindistan ve Çin'de yılda yaklaşık 185 milyar m^3 biyogaz üretilmektedir. Türkiye'de ise 200'den fazla biyogaz tesisi bulunmakta ve yıllık yaklaşık 8,6 milyar kWh elektrik üretilmekte olup bu miktar toplam elektrik üretiminin yaklaşık % 2–3'üne karşılık gelmektedir. Ayrıca 2030 yılına kadar tarımsal atıkların %45'inin yeniden kullanılması hedeflenmektedir. Atık biyokütleden elde edilen biyobozunur ambalaj malzemeleri, plastik kirliliğine karşı sürdürülebilir bir çözüm sunmakta ve yaşam döngüsü analizlerine göre %30–70 CO_2 emisyon azaltımı sağlayabilmektedir. Küresel ölçekte biyobazlı malzemeler toplam plastik üretiminin yalnızca %1–2'sini oluştururken, bunun % 40'tan fazlası ambalaj sektöründe kullanılmaktadır. Türkiye'nin bu alandaki payı ise yaklaşık %0,5 seviyesindedir. Bitkisel atıkların değerlendirilmesi sadece enerji ve malzeme üretimi ile sınırlı değildir. Aktif karbon üretiminde biyokütle kaynaklarının payı %30–50 olup kullanımın %70'ten fazlası su ve hava arıtımında gerçekleşmektedir. Buna karşılık nanopartikül üretiminde bitkisel kaynakların payı %10–20 düzeyinde kalmakta ve çoğunlukla laboratuvar/pilot ölçekle sınırlıdır Ayrıca bu atıkların hayvancılıkta kullanımı da yaygındır; küresel ölçekte yem kaynaklarının yaklaşık %28'i tarımsal atıklardan oluşmakta, bu oran gelişmekte olan ülkelerde % 30–50, Türkiye'de ise %20–30 seviyesindedir. Tarımda ise bu atıkların yaklaşık % 15–25'i kompost ve organik gübre olarak değerlendirilirken, Türkiye'de bu oran %10–20 düzeyindedir. Sonuç olarak, tarımsal atıklar çok yönlü kullanım alanları ve yüksek potansiyeli ile sürdürülebilir kalkınma açısından önemli bir kaynak olup, mevcut kullanım oranlarının artırılması büyük bir ekonomik ve çevresel fırsat sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bitkisel Atık, sürdürülebilir kalkınma, tarımsal atık, volarizasyon

Abstract

With the increase in population, agricultural production has rapidly expanded, leading to the generation of significant amounts of agricultural waste. Globally, approximately 30% of production (over 2 billion tons annually) is converted into waste, while in Türkiye this amount is estimated to be between 50–100 million tons. A substantial portion of this waste is either burned or left unmanaged, resulting in environmental pollution and the loss of valuable bioresources. However, the literature indicates that plant-based wastes can be utilized in various fields such as energy production, water treatment, biomaterial development, and nanoparticle synthesis. This study evaluates the volatilization potential of agricultural waste and focuses on its contribution to sustainable development. Agricultural wastes exceed 5 billion tons per year globally, and when converted into biofuels or biogas, they can reduce greenhouse gas emissions by up to 90% when replacing fossil fuels such as coal. Currently, there are more than 210,000 biogas plants worldwide, and agricultural wastes account for approximately 19% of total bioenergy feedstock. Notably, in India and China, around 185 billion m^3 of biogas is produced annually. In Türkiye, more than 200 biogas plants are in operation, generating approximately 8.6 billion kWh of electricity per year, which corresponds to about 2–3% of the total electricity production. Additionally, it is targeted that 45% of agricultural waste will be reused by 2030.Biodegradable packaging materials derived from waste biomass offer a sustainable solution to plastic pollution and can achieve 30–70% reductions in CO_2 emissions according to life cycle analyses. Globally, bio-based materials constitute only 1–2% of total plastic production, with more than 40% used in the packaging sector. Türkiye's share in this field is approximately 0.5%, indicating a relatively low but rapidly growing market.The utilization of plant-based wastes is not limited to energy and material production. In activated carbon production, biomass accounts for approximately 30–50%, with more than 70% of its use in water and air purification. In contrast, plant-based nanoparticle production remains limited, representing about 10–20% of total production and is mostly confined to laboratory and pilot scales. These wastes are also widely used in livestock farming; globally, about 28% of feed resources are derived from agricultural residues, increasing to 30–50% in developing countries, while in Türkiye it is estimated at 20–30%. In agriculture, approximately 15–25% of these wastes are used as compost and organic fertilizers, whereas in Türkiye this rate is around 10–20%.In conclusion, agricultural wastes represent a valuable resource with diverse applications and high potential for sustainable development. Increasing their utilization rates presents a significant economic and environmental opportunity.

Keywords: Agricultural waste, plant-based waste, sustainable development, volarization

CHANGES IN THE WHITE STORK (*CICONIA CICONIA*) POPULATION IN TÜRKİYE OVER THE LAST 10 YEARS (2014-2024)

Muhammet ERTEM[1], Ortaç ONMUŞ[2], Arzu Gürsoy ERGEN[3], Ayşenur AKGÜN[4], Murat ATAOL[5], Ümit BOLAT[6]

[1]Ege University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Faculty of Science, Department of Biology, Ecology & Conservation Biology, İzmir, Türkiye, Orcid: 0000-0003-3366-3305

[2]Ege University Faculty of Science, Department of Biology, Natural History Application and Research Centre, Ecology & Conservation Biology, İzmir, Türkiye, Orcid: 0000-0002-3819-0626

[3]Ankara University Faculty of Science, Department of Biology, Zoology & Ornithology & Ecology, Ankara, Türkiye, Orcid: 0000-0001-7776-65714

[4]Ankara University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Faculty of Science, Department of Biology, Zoology & Ornithology & Ecology, Ankara, Türkiye, Orcid:0000-0002-2023-0415

[5]Cankiri Karatekin University, Geography, Çankırı, Türkiye,

Orcid: 0000-0002-3213-0972

[6]Republic of Türkiye Ministry of Agriculture and Forestry, Environmental İmpact Assessment, Orcid: 0009-0004-0407-1700

Abstract

Situated strategically on major Afro-Eurasian migration routes, Türkiye serves as a critical breeding ground for the White Stork (*Ciconia ciconia*), an indicator species for wetland and agro-ecosystem health. A nationwide census of breeding white stork pairs was conducted across Turkey in 2014 and repeated in 2024. This study analyzes ten-year changes (2014–2024) in population size, nest occupancy, nest site selection parameters and geographical distribution to reveal long-term habitat use dynamics nationwide. Spatial datasets were integrated with environmental layers—including elevation, distance to wetlands, slope, aspect, and CORINE land cover—within a GIS-based framework. Statistical rigor was maintained by employing comparative analysis to evaluate population shifts, while correlation, Principal Component Analysis (PCA), and logistic regression were used to identify the environmental drivers of distribution. The total number of nests increased from 9,881 in 2014 to 10,874 in 2024. Notably, the number of actively breeding pairs increase from 8,683 to 10,229, reflecting a significant surge in nest occupancy rates from 87.87% to 94.06%. Geographically, the highest concentrations of breeding pairs were recorded in Samsun (1,297 pairs), Edirne (957 pairs), Çorum (520 pairs), Tokat (493 pairs), and Iğdır (490 pairs). As a keystone species providing vital ecosystem services, the observed positive population trends offer critical insights into Türkiye's biodiversity status. These findings provide a solid scientific foundation for updating national conservation statuses and developing targeted habitat management plans to ensure the sustainability of this long-distance migrant.

Keywords: White Stork (*Ciconia ciconia*), Population Dynamics, Nest Occupancy, GIS, PCA

Funding institution: General Directorate of Nature Conservation and National Parks (DKMP), The Nature And Biodiversity Conservation Union (NABU)

BİTKİLERDE DÜŞÜK VE YÜKSEK SICAKLIK STRESİNİN FİZYOLOJİK ETKİLERİ VE BİYOKİMYASAL SAVUNMA MEKANİZMALARI

PHYSIOLOGICAL HIGH OF EFFECTS AND LOW TEMPERATURE STRESS İN PLANTS AND BIOCHEMICAL DEFENSE MECHANISMS

Bahar Gökçe TUNCER[1], Gülsüm CEVAHİR[2], Feyza Nur KAFADAR[3]

[1]Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji bölümü, Gaziantep, Türkiye,
Orcid: 0009-0005-3167-0730

[2]Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye,
Orcid: 0009-0009-6346-6135

[3]Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye,
Orcid: 0000-0003-3544-2979

Özet

Bitkisel üretimde verimliliği büyük ölçüde kısıtlayan abiyotik stres etmenlerinden düşük ve yüksek sıcaklık stresleri, bitkilerde fizyolojik, biyokimyasal, moleküler, morfolojik ve anatomik düzeylerde çeşitli ve karmaşık değişimlere neden olmaktadır. Düşük sıcaklık maruziyeti, özellikle hassas bitki türlerinde sitoplazma viskozitesinin artmasına, hücresel su tutma kapasitesinin bozulmasına ve temel metabolik reaksiyonların yavaşlamasına neden olmaktadır. Bu süreç, metabolit parçalanmasının sentez hızını aşmasıyla beslenme, solunum ve büyüme gibi temel fizyolojik fonksiyonlarda ciddi aksamalara yol açmakta; kök gelişimini engelleyerek demir, çinko, mangan ve fosfor gibi besin elementlerinin yarayışlılığını önemli oranda azaltmaktadır. Toprak sıcaklığının 25 °C'ten 13 °C'a düşmesi fosfor elverişliliğini yaklaşık %70 oranında düşürebilmekte, soğuk ve ıslak topraklar ise köklerde su alım-transpirasyon dengesini bozarak gövde dehidrasyonuna ve yaprak genişliğinde azalmaya sebep olmaktadır. Çiçek tomurcukları, çimlenme ve erken fide dönemleri soğuğa karşı en duyarlı aşamalar olarak öne çıkmaktadır.Yüksek sıcaklık stresi ise fotosentez etkinliğini, membran bütünlüğünü ve enzim stabilitesini olumsuz etkileyerek yaprak kavrulması, sürgün ve kök büyümesinde azalma, hücre boyutunda küçülme, stoma ve trikom hasarının artması gibi morfolojik ve anatomik değişikliklere yol açmaktadır. Aşırı sıcaklık koşullarında hücresel hasar veya ölüm meydana gelebilmektedir. Her iki sıcaklık ekstreminde de bitkiler stresle başa çıkmak için kaçınma ve aklimasyon (alışma) mekanizmalarını devreye sokmakta; iyon taşıyıcılar, osmoprotektanlar, antioksidan enzimler ve stres proteinleri gibi savunma bileşenlerini aktive etmektedir.Fitohormonlar, bu stres koşullarının algılanması, sinyal iletimi ve adaptif yanıtların düzenlenmesinde merkezi rol oynamaktadır. Absisik asit (ABA), her iki stres türünde de en kritik hormon olarak öne çıkmaktadır. ABA dokulardaki miktarı artarak stoma kapanmasını teşvik etmekte, su kaybını azaltmakta, reaktif oksijen türlerini (ROS) kontrol altına almak için antioksidan savunma sistemlerini aktive etmekte ve dehidrasyon ile donma toleransı ile ilgili genlerin ifadesini indüklemektedir. ABA'ya bağımlı ve bağımsız mekanizmaların koordinasyonu ile kalsiyum sinyalleşmesi, soğuk ve sıcak toleransının kazanılmasında belirleyici olmaktadır. Ayrıca Etilen, Brassinosteroidler (BR), Jasmonik asit (JA), Salisilik asit (SA), Sitokinin, Oksin ve Giberellin (GA) gibi diğer fitohormonlar da ısı şok proteinlerinin sentezini düzenleyerek protein denatürasyonunu önlemekte ve metabolik sürekliliği desteklemektedir. Odunsu bitkilerde soğuk aklimasyonu, fotoperiyot ve düşük

sıcaklıkların etkileşimiyle tetiklenmekte ve yeni polipeptitlerin senteziyle desteklenmektedir. Sonuç olarak, düşük ve yüksek sıcaklık streslerine karşı geliştirilen bu karmaşık hormon sinyal ağları ve adaptif mekanizmalar, bitkilerin olumsuz çevresel koşullara uyum sağlaması ve verim kaybını en aza indirmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Düşük sıcaklık stresi, yüksek sıcaklık stresi, fitohormonlar, antioksidan savunma sistemi, reaktif oksijen türleri (ROS).

Abstract

Abiotic stress factors, particularly low and high temperature stresses, which significantly limit productivity in plant production, induce diverse and complex changes at physiological, biochemical, molecular, morphological, and anatomical levels in plants.Low temperature exposure, particularly in sensitive plant species, increases cytoplasmic viscosity, disrupts cellular water retention capacity, and slows down fundamental metabolic reactions. This process leads to serious disruptions in key physiological functions such as nutrition, respiration, and growth due to metabolite degradation exceeding the rate of synthesis. It also restricts root development, thereby substantially reducing the availability of essential nutrients including iron, zinc, manganese, and phosphorus. A drop in soil temperature from 25 °C to 13 °C can decrease phosphorus availability by approximately 70%. Cold and wet soils further disturb the water uptake-transpiration balance in roots, resulting in stem dehydration and reduced leaf area. Flower buds, germination, and early seedling stages are the most sensitive phases to cold stress. High temperature stress, on the other hand, adversely affects photosynthetic efficiency, membrane integrity, and enzyme stability, causing morphological and anatomical alterations such as leaf scorching, reduced shoot and root growth, smaller cell size, and increased damage to stomata and trichomes. Under extreme high-temperature conditions, cellular damage or plant death may occur. In response to both temperature extremes, plants activate avoidance and acclimation mechanisms, upregulating ion transporters, osmoprotectants, antioxidant enzymes, and various stress proteins as key defense components. Phytohormones play a central role in the perception of these stress conditions, signal transduction, and the regulation of adaptive responses. Abscisic acid (ABA) emerges as the most critical hormone in both stress types. ABA accumulates in tissues, promoting stomatal closure to reduce water loss, activating antioxidant defense systems to control reactive oxygen species (ROS), and inducing the expression of genes related to dehydration and freezing tolerance. The coordination of ABA-dependent and ABA-independent pathways along with calcium signaling plays a decisive role in the acquisition of cold and heat tolerance. Additionally, other phytohormones such as Ethylene, Brassinosteroids (BR), Jasmonic acid (JA), Salicylic acid (SA), Cytokinin, Auxin, and Gibberellin (GA) regulate the synthesis of heat shock proteins, prevent protein denaturation, and maintain metabolic continuity. In woody plants, cold acclimation is triggered by the interaction of photoperiod and low temperatures and is supported by the synthesis of new polypeptides. In conclusion, the complex hormone signaling networks and adaptive mechanisms developed against low and high temperature stresses are of great importance for plants to adapt to adverse environmental conditions and minimize yield losses.

Keywords: Low temperature stress, high temperature stress, phytohormones, antioxidant defense system, reactive oxygen species (ROS).

TARIMSAL EKOSİSTEMLERDE KURAKLIK STRESİNİN BİTKİSEL HORMONLAR VE SAVUNMA YANITLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

HORMONAL REGULATION AND DEFENSE MECHANISMIS OF PLANTS UNDER DROUGHT STRESS IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS

Zehra Azra KILIÇ[1], Feyza Nur KAFADAR[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep Türkiye, Orcid: 0009-0001-9669-913X

Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep Türkiye, Orcid: 0000-0003-3544-2979

Özet

İklim değişikliğine bağlı stres faktörleri bitkileri önemli ölçüde etkilemektedir. Söz konusu stres faktörleri biyotik ve abiyotik olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır. Abiyotik stres faktörleri arasında yer alan kuraklık, dünya genelinde bitkisel üretimi en fazla etkileyen çevresel streslerden biridir. Bitkiler kuraklık stresine maruz kaldıklarında büyümede gerileme, bitki boyunda kısalma, verim ve kalite kaybı gibi olumsuz tepkiler göstermektedir. Ayrıca kuraklık; bitkilerde metabolik, mekanik ve oksidatif değişimlere yol açarak fizyolojik süreçlere hasar vermektedir. Bitkiler, su kıtlığı koşullarına karşı moleküler, biyokimyasal ve fizyolojik düzeylerde oldukça karmaşık savunma mekanizmaları geliştirmiştir. Bu tepkiler; stresin şiddetine, süresine, bitkinin genotipine ve gelişim dönemine bağlı olarak değişmekte ve bitkinin sınırlı çevresel koşullara uyum sağlamasına yardımcı olmaktadır. Kuraklık stresi fotosentez üzerinde de önemli etkiler yaratır. Klorofil ve karoten biyosentezinin bozulması fotosentez hızını düşürmektedir. Stomatal iletkenliğin azalması CO_2 asimilasyonunu sınırlamaktadır. Bunun yanında hücre zarı stabilitesi bozulmakta, bitkinin su ilişkileri zarar görmekte ve su kullanım verimliliği azalmaktadır. Bitkiler bu olumsuz koşullara karşı kuraklığa tolerans, kaçınma veya kaçış gibi stratejiler geliştirmişlerdir. Bu süreçte morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal, sitolojik ve genetik değişimler meydana gelir. Bitkilerin kuraklık stresine verdiği tepkilerin düzenlenmesinde fitohormonlar önemli rol oynamaktadır. Fitohormonlar; bitki büyüme ve gelişmesini düzenleyen, çevresel streslere karşı dayanıklılığın oluşmasına katkı sağlayan doğal organik maddelerdir. Özellikle Absisik asit (ABA)'nın stoma kapanmasını düzenlemesi ve gen ifadesi ile sinyal iletiminde rol oynaması bitkinin kuraklığa uyumunda merkezi bir mekanizma oluşturmaktadır. Hormonlar besin eksikliği ve kuraklık stresinde mikorizal ilişkileri teşvik ederek su ve mineral alımını artırmakta, böylece bitkinin kuraklığa uyumuna katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: İklim değişikliği, kuraklık stresi, bitkisel hormonlar, bitkilerin savunma yanıtları.

Abstract

Climate change–induced stress factors significantly affect plants. These stress factors are categorized into two main groups as biotic and abiotic. Among the abiotic stress factors, drought is one of the most critical environmental stresses affecting plant production worldwide. When exposed to drought stress, plants exhibit adverse responses such as reduced growth, decreased plant height, and losses in yield and quality.Moreover, drought induces metabolic, mechanical, and oxidative alterations in plants, thereby causing damage to physiological processes. Plants have developed highly complex defense mechanisms at the molecular, biochemical, and physiological levels in response to water scarcity conditions. These responses vary depending on the severity and duration of the stress, as well as the plant's genotype and developmental stage, and contribute to the plant's adaptation to limited environmental conditions.Drought stress also exerts significant effects on photosynthesis. Impairment in chlorophyll and carotenoid biosynthesis leads to a reduction in photosynthetic rate, while decreased stomatal conductance limits CO_2 assimilation. In addition, cell membrane stability is disrupted, plant water relations are adversely affected, and water use efficiency declines.Plants have evolved strategies such as drought tolerance, avoidance, and escape to cope with these unfavorable conditions. During this process, morphological, physiological, biochemical, cytological, and genetic changes occur. Phytohormones play a crucial role in regulating plant responses to drought stress. These compounds are natural organic substances that regulate plant growth and development andcontribute to the establishment of stress tolerance.In particular, abscisic acid (ABA) constitutes a central mechanism in plant adaptation to drought by regulating stomatal closure and playing a key role in gene expression and signal transduction. Furthermore, under conditions of nutrient deficiency and drought stress, hormones promote mycorrhizal associations, thereby enhancing water and mineral uptake and contributing to the plant's adaptation to drought.

Keywords: Climate change, drought stress, plant hormones, plant defense responses.

ROLE OF AQUATIC MACROPHYTES IN WETLAND SUSTAINABILITY AND CARBON SEQUESTRATION

Beyza YILDIRIM[1], Muhittin DOĞAN[2]

Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, University of Gaziantep, Gaziantep, Türkiye

Abstract

Wetlands represent some of the most valuable ecosystems worldwide due to their diverse ecological functions and the essential services they provide. These ecosystems play a critical role in conserving biodiversity, regulating hydrological cycles, and sequestering carbon. The long-term sustainability of wetlands is strongly dependent on the ecological contributions of aquatic macrophytes. Through photosynthesis, macrophytes capture atmospheric carbon dioxide and enhance carbon storage, thereby reducing the adverse impacts of climate change. In this capacity, wetlands function as natural carbon sinks, contributing significantly to global climate regulation. Beyond carbon sequestration, aquatic macrophytes are instrumental in improving water quality. They absorb heavy metals, pesticides, and excess nutrients, acting as natural agents of bioremediation. This process mitigates pollution and fosters healthier aquatic environments. Moreover, macrophytes provide essential habitats for fish, invertebrates, and other aquatic organisms, thereby supporting biodiversity and maintaining ecological balance. Nevertheless, wetlands face increasing threats from climate change, urbanization, and agricultural expansion. These anthropogenic pressures undermine ecosystem resilience and sustainability. In this context, the ecological functions of macrophytes emerge as vital mechanisms to counterbalance such disturbances. Effective conservation and management of aquatic macrophytes are therefore indispensable for ensuring the long-term stability of wetland ecosystems. In conclusion, aquatic macrophytes constitute a fundamental component of wetland ecology. Their dual role in ecological regulation and climate mitigation underscores their importance in sustainable environmental management. Prioritizing the protection and management of macrophytes is not only crucial for maintaining biodiversity but also for enhancing carbon sequestration capacity, making them strategic assets in the pursuit of global sustainability.

Keywords: Aquatic macrophytes, wetland, sustainability, carbon sequestration, climate change mitigation

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDE KUŞ FANASININ BELİRLENMESİ

Murat KÜTÜK[1], Ayça DEMİRCİ[2], Müslüm SARIKAYA[3]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0000-0003-1567-1002
[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0009-0006-0498-8329
[3] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0009-0001-2273-406X

Özet

Bu çalışma Gaziantep Üniversitesi Merkez Kampüsü içerisinde 2025 yılı Mart- Ekim ayları içerisinde haftanın belirli günlerinde gözlemler yapılarak kuş faunası belirlenmiştir. Kampüs içi ve etrafı özellikle hayvanat bahçesi ile bitişik olmasına bağlı olarak ağırlıklı çam ağaçları olmak üzere farklı ağaç formunda bitkiler mevcut olup bu ortamlarda üreme, beslenme ve diğer amaçlarla gelen kuşların gözlemleri yapılarak fotoğrafları çekilmiştir.

Araştırma alanı, habitat özelliklerini ve türlerin kampüs içindeki dağılımını ortaya koymak amacıyla

6 örnekleme karesine bölünmüştür. Nokta gözlemi ve hat boyu gözlemi yöntemleri birlikte uygulanmış; gözlemler kuşların biyolojik aktivitelerinin en yüksek olduğu 06:00–10:00 saatleri ile akşam saatlerinde yoğunlaştırılmıştır. Tür ve birey tespitinde 10×42 büyütmeli dürbün, Canon 700D fotoğraf makinesi ile 100–600 mm teleobjektif ve ses kayıt ekipmanı kullanılmıştır. Tür teşhisi yapılırken türlerin dış morfolojik özellikleri ile uçuş silueti ve vokalizasyon gibi davranışsal karakterleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda 14 farklı takıma ait toplam 85 kuş türü tespit edilmiştir. Passeriformes (ötücü kuşlar) takımı 60 türle dominant grubu oluştururken bu takım içinde Muscicapidae (11 tür), Sylviidae (8 tür) ve Fringillidae (7 tür) olup en fazla tür içeren familyalar olarak belirlenmiştir.

Toprak, 2004 yılında yapmış olduğu çalışmada Gaziantep ilinden 92 türün tespit edildiğini bildirmiştir. Kütük ve ark., 2018 Gaziantep İli Biyoçeşitlilik Envanter ve İzlenme Projesi kapsamında Gaziantep ilinden 238 kuş türünün varlığını bildirmişlerdir. Gaziantep kampüs sınırları içinde 85 türün tespit edilmiş olması bugüne kadar tespit edilmiş kuş faunası dikkate alındığında Gaziantep ilinin tamamına kıyasla kampüs alanı gibi küçük bir alanda bu kadar türün tespit edilmiş olması dikkat çekecek derecede önemlidir. Bu sonuç, kentsel yaşam içerisinde insan faktörü ve avcı baskısının hissedilmediği kampüs alanının kuşlar için bir beslenme ve üreme alanı olarak tercih edilmelerinden kaynaklanmaktadır. Kampüs alanlarında gün içerisinde çok sayıda insanın bulunmuş olmasına rağmen kuşlar açısından herhangi bir tehdit oluşturmadığı kampüs içerisinde 85 türün tespit edilebilmesinden

anlaşılabilmektedir. Ayrıca kampüse bitişik olarak yer alan hayvanat bahçesi ve ormanlık alanın bulunuyor olması da kuş türlerinin bu alanı tercih etmelerinde önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Tespit edilen türlerin büyük çoğunluğu IUCN kriterlerine göre 'Düşük Riskli' (LC) kategorisinde değerlendirilmekle birlikte Şah Kartal (*Aquila heliaca*) ve Üveyik (*Streptopelia turtur*) 'Hassas' (VU) kategorisinde yer almaktadır. Bu bulgu, kampüsün yalnızca yerel değil küresel ölçekte tehlike altındaki türler için de stratejik bir geçiş ve konaklama noktası işlevi gördüğünü kanıtlamaktadır. Gaziantep Üniversitesi bünyesinde gerçekleştirilen ilk kapsamlı bir proje olup belirli aralıklarla benzer şartlarda yapılacak olan benzer projelerle kampüsteki kuş faunasının tespiti sayesinde yıllara göre değerlendirme ve kıyaslamaların yapılmasının önemli olacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Avifauna, Kuş Faunası, Gaziantep Üniversitesi Kampüsü, Kampüs Biyoçeşitliliği

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPÜS İÇERİSİNDEKİ GÜNDÜZ KELEBEKLERİNİN BELİRLENMESİ

Mürşit Ömür KOYUNCU[1], Damla İNAL[2], Gül AYHAN[3]

[1] Gaziantep Üniversitesi, Araban Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-0789-6925

[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye Orcid: 0009-0003-8282-9057

[3] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye Orcid: 0009-0000-4749-0551

Özet

Bu çalışma, Gaziantep Üniversitesi merkez kampüsü ve çevresinde yayılış gösteren gündüz kelebeklerinin (Lepidoptera: Rhopalocera) tür çeşitliliğini belirlemek ve ekolojik özelliklerini ortaya koymak amacıyla yürütülmüştür. Çalışma, 2025 yılında yürütülen arazi ve laboratuvar çalışmaları ile gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları, kelebeklerin aktif oldukları saatlerde ve uygun hava koşullarında yapılmış, örnekler atrap yöntemiyle toplanarak laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvar ortamında örneklerin preparasyonları yapılmış, tür teşhisleri morfolojik karakterler temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, araştırma alanında Hesperiidae, Lycaenidae, Nymphalidae, Papilionidae ve Pieridae familyalarına ait toplam 16 tür tespit edilmiştir. Türlerin dağılımı, alanın floristik çeşitliliği ve mikrohabitat özellikleriyle doğrudan ilişkili bulunmuştur. Özellikle Lycaenidae ve Pieridae familyalarının kampüs genelinde baskın olduğu belirlenmiş, nemli ve bitki çeşitliliği yüksek mikrohabitatlarda tür zenginliğinin arttığı gözlenmiştir. Elde edilen veriler, Gaziantep Üniversitesi kampüsünün kelebekler açısından önemli bir ekolojik alan olduğunu göstermektedir. Bu sonuç hem bölgesel biyoçeşitliliğin korunması hem de gelecekte yürütülecek ekolojik izleme çalışmalarına temel teşkil etmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekoloji, Gaziantep Üniversitesi Kampüs, Lepidoptera, Rhopalocera,

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ MERKEZ KAMPÜSÜNDE REPTİLİA (SÜRÜNGEN) FAUNASININ BELİRLENMESİ

Vedat GÖRMEZ[1], Zeynep BOYRAZ[2], İbrahim Halil AKAR[3]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-8136-8226

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0001-5563-7944

[3]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0004-6357-587X

Özet

Bu çalışma, Gaziantep Üniversitesi Merkez Kampüsü içerisinde 2025 yılı yaz ve sonbahar ayları boyunca haftanın belirli günlerinde düzenli arazi çalışmaları yapılarak Reptilia (sürüngenler) faunasının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Kampüs içi ve çevresi; ormanlık alanlar, yarı-doğal habitatlar, açık alanlar, taşlık bölgeler, çalılık alanlar ve suya yakın mikrohabitatlar bakımından farklı ekolojik özellikler göstermekte olup bu alanlarda beslenme, saklanma, üreme ve diğer yaşamsal faaliyetler amacıyla bulunan sürüngen türlerinin tespitleri yapılmıştır.

Araştırma alanı, habitat özelliklerini ve türlerin kampüs içerisindeki dağılımını ortaya koymak amacıyla farklı örnekleme alanlarına ayrılmıştır. Arazi çalışmaları görsel arama, taş ve kütük çevirme, su kenarı ve açık alan taraması gibi standart örnekleme yöntemleriyle yürütülmüştür. Gözlemler, sürüngenlerin biyolojik aktivitelerinin en yüksek olduğu yaz aylarında sabah erken saatlerde, akşam gün batımında ve gece saatlerinde; sonbahar döneminde ise öğle saatlerinde gerçekleştirilmiştir.

Tür ve bu türlere ait bireyler gözlem ve tespitler yapılırken habitatları incelenmiş fotoğrafları çekilmiştir. Sürüngen türlerinin teşhisinde pulların durumları, kuyruk ve baş üzerinde yapılan ölçümler, vücut şekilleri, renkleri ve vücut üzerinde bulunan desenlenmeler morfolojik karakterler olarak kullanılmıştır. Ayrıca tür ayrımında cinsiyet organları önemli karakterler olarak kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda araştırma alanında Reptilia sınıfına ait 13 cinse bağlı toplam 15 tür tespit edilmiştir. Neticede kaplumbağa, kertenkele ve yılanlara ait türler tespit edilmiştir. Çalışma alanı olan Üniversite Merkez Kampüsünde özellikle taşlık, açık habitatlar, çalılık alanlar ve su kaynaklarına yakın yerler sürüngen türlerinin daha çok yaşam alanları olarak bilinen yerlerde arazi çalışmaları yapılarak türlerin varlığı tespit edilmiştir.

Kütük ve ark. (2018), Gaziantep İli Biyoçeşitlilik Envanter ve İzlenme Projesi kapsamında Gaziantep genelinde 27 sürüngen türünün varlığını bildirmiştir. Gaziantep kampüs sınırları içerisinde 15 türün tespit edilmiş olması, ilin tamamı dikkate alındığında kampüs alanı gibi sınırlı bir bölgede sürüngen çeşitliliğinin dikkat çekici düzeyde temsil edildiğini

göstermektedir. Bu durum, kampüs alanının yalnızca yapay unsurlardan oluşmadığını; aksine, sahip olduğu habitat çeşitliliği sayesinde sürüngen türleri için önemli bir beslenme, barınma ve üreme alanı sunduğunu ortaya koymaktadır. Kentsel yaşam içerisinde insan faktörü ve avcı baskısının daha az hissedildiği bu alanın, özellikle yarı-doğal habitat yapısı ve kampüse bitişik yeşil alanların varlığı ile birlikte sürüngen türleri açısından uygun yaşam koşulları sağladığı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, Gaziantep Üniversitesi bünyesinde Reptilia faunasına yönelik gerçekleştirilen kapsamlı çalışmalardan biri olup, belirli aralıklarla yapılacak benzer izleme çalışmaları ile kampüsteki sürüngen çeşitliliğinin yıllara göre değerlendirilmesi ve korunmasına yönelik planlamaların yapılması açısından önemlidir.

Anahtar kelimeler: Biyoçeşitlilik, Reptilia, Gaziantep Üniversitesi Kampüs, Habitat çeşitliliği, Kampüs ekosistemi, Sürüngen Faunası

YAPAY ZEKA VE BİYOLOJİ İLİŞKİSİ: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Melike Aycan TABUR [1], Türkan GÜRER[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye,

Orcid: 0009/0007/4496/3393

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye,

Orcid: 0000/0003/2207/0360

Özet

Son yıllarda yapay zekâ (YZ) ve makine öğrenmesi (ML) alanındaki hızlı gelişmeler, biyolojik bilimlerde dikkat çekici bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Özellikle derin öğrenme yaklaşımlarının yaygınlaşmasıyla birlikte, genomik, proteomik ve hücre biyolojisi gibi alanların yanı sıra ekolojik sistemlerden elde edilen büyük ve karmaşık veri setlerinin analizi daha erişilebilir ve etkin hale gelmiştir.

Yapay zekâ temelli yöntemler, gen ekspresyon verilerinin değerlendirilmesi, protein yapı tahmini ve biyolojik ağların modellenmesi gibi moleküler düzeydeki çalışmalarda önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Bunun yanında, bu teknolojilerin ekoloji alanındaki kullanımı da giderek artmaktadır. Tür dağılımının modellenmesi, biyoçeşitliliğin izlenmesi, habitat değişimlerinin belirlenmesi ve iklim değişikliğinin ekosistemler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi gibi konularda yapay zekâ önemli bir destek aracı olarak öne çıkmaktadır.

Görüntüleme ve sensör teknolojilerinden elde edilen uydu verileri, kamera tuzak kayıtları ve akustik izleme sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi, tür tanımlama ve popülasyon dinamiklerinin izlenmesini kolaylaştırmaktadır. Öte yandan, moleküler düzeyde elde edilen verilerin çevresel verilerle birlikte ele alınması, organizmaların çevresel streslere verdikleri yanıtların daha geniş bir ekolojik çerçevede yorumlanmasına imkân tanımaktadır.

Bununla birlikte, yapay zekâ uygulamalarının biyolojik ve ekolojik araştırmalara entegrasyonu bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Veri kalitesinin değişkenliği, model sonuçlarının yorumlanabilirliği, örnekleme yanlılıkları ve etik konular bu sürecin önemli sınırlılıkları arasında yer almaktadır. Özellikle heterojen veri yapıları ve sınırlı etiketli veri, model performansını doğrudan etkileyebilmektedir.

Bu çalışmada, yapay zekâ ile biyoloji arasındaki ilişki hem moleküler hem de ekolojik düzeyde ele alınmış; güncel uygulamalar, kullanılan yöntemler ve karşılaşılan temel zorluklar literatür çerçevesinde değerlendirilmiştir. Ayrıca, bu alanların birlikte ele alınmasının gelecekte biyomedikal araştırmalar ve ekosistem yönetimi açısından sağlayabileceği katkılar üzerinde durulmuştur.

Sonuç olarak, yapay zekâ teknolojilerinin biyolojik bilimler ve ekoloji ile birlikte değerlendirilmesi, canlı sistemlerin farklı ölçeklerde daha bütüncül bir şekilde anlaşılmasına katkı sağlayabilecek önemli bir yaklaşım olarak görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Yapay zekâ, biyoloji, ekoloji, makine öğrenmesi, derin öğrenme, biyoçeşitlilik

TÜRKIYE'NİN JEOMORFOLOJİK GERÇEĞİ KAF VE DAF

Kübra Nur KALAY[1], Erdihan TUNÇ[2]

[1] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0003-3807-4910

[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-1880-3106

Özet

6 Şubat 2023 tarihinde saat 04:17'de ve 13:24'te merkez üssü Kahramanmaraş'ın Pazarcık ve Elbistan ilçeleri olan Mw7.7 (odak derinlik=8,6km) ve Mw7.6 (odak derinlik=7km) büyüklüklerinde deprem meydana gelmiştir. Yaklaşık 2 hafta sonra 20 Şubat 2023 tarihinde saat 20:04'te merkez üssü Hatay Yayladağı olan Mw6.4 büyüklüğünde bir deprem daha meydana gelmiştir. Bu depremler toplamda 11 ilde (Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye ve Şanlıurfa) büyük yıkımlara neden olmuştur. Bu çalışmanın amacı, yakın zamanda Türkiye'nin 11 ilini etkileyen 6 Şubat ve 20 Şubat depremlerinin jeomorfoloji ile ilişkisine dikkat çekmektir. Jeomorfoloji, yer kabuğunun dış yüzeyinde oluşan yer şekillerini, oluşturan ve değişikliğe uğratan etken ve süreçleri araştıran, dağılışlarını haritalayan bir bilim dalıdır. Türkiye, Alp-Himalaya kıvrım kuşağı üzerinde yer alan, jeolojik açıdan oldukça genç ve karmaşık bir yapıya sahiptir ve tektonik olarak da aktiftir. Prekambriyen'den Kuvaterner'e kadar geniş bir zaman diliminde oluşan yüzey şekilleri, özellikle III. jeolojik dönemde şekillenmiş dağlar, kırıklar ve volkanik yapılarla doludur. Türkiye, Alp-Himalaya Orojenezi üzerinde yer alması nedeniyle genç, engebeli ve sürekli değişen bir arazi yapısına sahiptir. Avrasya, Arap ve Afrika levhalarının sıkıştırması sonucu sık sık depremler ve aktif fay hatları (KAF, DAF) yaygındır. Bu sıkıştırma rejimi Doğu Anadolu bölgesindeki kıta kabuğunun yükselmesine neden olmuştur. Bu zaman süresince doğu-batı yönlü yapılar gelişmiştir. Daha sonra bu sıkıştırma rejimi kendini batıya doğru kaçış rejimine dönüştürmüştür. Böylece Anadolu levhası Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) ile batıya doğru harekete başlamıştır

Bu jeomorfolojik özellikler; iklimden tarıma, ulaşımdan yerleşmeye kadar birçok alanı doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle Türkiye'nin yer şekillerini doğru anlamak, doğal kaynakların kullanımı ve afetlere karşı hazırlık açısından büyük önem taşır.

Anahtar kelimeler: Türkiye, Jeomorfoloji, Deprem, Doğu Anadolu Fayı, Kuzey Anadolu Fayı

KÜRESEL ISINMA İLE TÜRKİYE TOPRAKLARI NEM REJİMİ İLİŞKİSİ

Esranur BODUR[1], Erdihan TUNÇ[2]

[1] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye,
Orcid: 0009-0001-4077-2078

[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye,
Orcid: 0000-0002-1880-3106

Özet

Bu çalışma, Küresel Isınma olgusunun toprak nem rejimi üzerindeki etkilerini, iklim-toprak etkileşimleri çerçevesinde sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla irdelemeyi amaçlamaktadır. Antropojenik faaliyetlere bağlı olarak atmosferik sıcaklıklarda meydana gelen artışlar ile yağış rejimlerinde gözlenen mekânsal ve zamansal heterojenlik, toprak-su dengesini doğrudan etkileyerek evapotranspirasyon süreçlerinin hızlanmasına ve buna bağlı olarak toprak nem dinamiklerinde belirgin değişimlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde toprak nem açığının derinleştiği; nemli ekosistemlerde ise hidrolojik süreçlerin sürekliliğinin bozulduğu ve mevsimsel dalgalanmaların arttığı gözlemlenmektedir. Toprak nem rejiminde meydana gelen bu değişimler, pedogenetik süreçler üzerinde belirleyici rol oynarken, bitki gelişimi, tarımsal üretkenlik ve Biyoçeşitlilik dinamikleri üzerinde de doğrudan ve dolaylı etkiler oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında, güncel literatür bulguları ve kavramsal değerlendirmeler doğrultusunda, küresel ısınmanın toprak nemi üzerindeki etkileri disiplinlerarası bir perspektifle ele alınmakta; sürdürülebilir arazi kullanımı ve entegre su yönetimi stratejilerinin gerekliliği bilimsel temelde tartışılmaktadır. Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, bu rejimlerin bölgesel dağılımı iklim çeşitliliğinin açık bir yansımasıdır. Karadeniz Bölgesi'nde nemli rejim baskınken; İç ve Güneydoğu Anadolu'da yarıkurak ve kurak rejimler hâkimdir. Akdeniz kıyılarında ise akdeniz rejim yaygın olarak gözlenmektedir. Bu farklılıklar, tarımsal planlama, sulama stratejileri ve doğal kaynak yönetimi açısından belirleyici rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, toprak nem rejimlerinin anlaşılması yalnızca toprak bilimi açısından değil; iklim değişikliğiyle mücadele, ekosistem sürdürülebilirliği ve gıda güvenliği bakımında da stratejik bir gereklilik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Türkiye,Ekosistem, Küresel İklim Değişikliği, Toprak Nemi

İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİNİN ÖRÜMCEKLER ÜZERİNE OLASI ETKİLERİ

Asiye SEÇKİN[1], Adile AKPINAR[2], Mehmet YARAN[3], Fatma YILMAZ[4]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcıd: 0009-0000-0151-5717

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, , Orcıd: 0000-0001-5815-1096

[3]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2151-5471

[4]Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Kilis, Türkiye Orcıd: 0009-0001-4854-6112

Özet

Bu çalışma kapsamında, iklim değişiminin karasal eklem bacaklılar arasında önemli bir yere sahip olan örümcekler (Araneae) üzerindeki genel etkileri araştırılmıştır. Örümcekler, dünyada Antarktika kıtası hariç hemen her türlü habitat ve ekosistemde yaşayabilmektedirler. Ağ yapıları, avlanma taktikleri ve zehirli olup olmaları ile de dikkat çeken sekiz bacaklılardır. Başta böcekler olmak üzere pek çok omurgasız canlı ve küçük omurgalıları besin olarak tercih etmektedirler. Predatör canlılar olarak ta nitelendirilen örümcekler pek çok tarımsal alanlarda biyoindikatör türlere sahip olmaları ile ekolojik öneme sahiptirler. Tüm canlılar gibi bu takım üyeleri de iklimsel değişimlerden etkilenmektedir. İklimsel değişimlerden doğrudan ve dolaylı etkilenmeler şeklinde yapılan değerlendirmeler neticesinde; sıcaklıktan doğrudan etkilenmesi, örümceklerin üreme başarısı, yaşam süresi ve popülasyon yoğunluğu üzerinde değişikliklere yol açması şeklinde ortaya çıkabilmektedir. Bunun yanı sıra, sıcaklık artışlarının bazı türlerin yayılış alanlarının genişlemesine veya daralmasına neden olabileceği belirtilmektedir. Dolaylı etkileri ise, örümceklerin besin kaynağını oluşturan başta böcekler olmak üzere diğer omurgasız grupların çevresel değişimlere verdiği tepkilere bağlı olarak şekillenmektedir. Böcek popülasyonlarında meydana gelen değişimler, örümceklerin beslenme rejimleri ile büyüme ve gelişim süreçlerini de etkileyebilmektedir. Araştırma ile konuya ilişkin güncel literatür verileri değerlendirilerek sıcaklık artışı, yağış rejimindeki değişimler, kuraklık ve habitat kayıplarının da örümcek türlerinin dağılımı, fenolojisi, popülasyon dinamikleri ve türler arası etkileşimleri üzerindeki etkileri ele alınmıştır.

Anahtar kelimeler: İklim değişikliği, Araneae, karasal eklembacaklılar

TÜRKİYE'NİN BATISINDAKİ *Bombina variegata* POPÜLASYONUNUN GENETİK ÇEŞİTLİLİĞİ

(EDİRNE, ENEZ)

GENETIC DIVERSITY OF THE *Bombina variegata* POPULATION inWESTERN TÜRKİYE

(EDİRNE, ENEZ)

Burak Can ERDAĞ[1], Oleksiy YANCHUKOV[2]

[1]Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye, Orcid: 0000-0002-1219-8443

[2]Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Fakültesi, Zonguldak, Türkiye,

Orcid: 0000-0002-9613-8770

Özet

Sarı Karınlı Kurbağa (*Bombina variegata*), Türkiye'de oldukça kısıtlı bir yayılış alanına sahip olup, mevcut kayıtlar ışığında bilinen tek popülasyonu Edirne'nin Enez ilçesinde yer almaktadır. Bu çalışma, söz konusu popülasyonun genomik yapısını karakterize etmek, popülasyonun genetik bütünlüğünü değerlendirmek ve mikro-evrimsel süreçleri anlamak amacıyla yürütülmektedir. Arazi çalışmaları kapsamında, bölgedeki birkaç farklı mevkiden doku örnekleri toplanmıştır.

Metodolojik süreçte, örneklenen bireylerden yüksek saflıkta genomik DNA izolasyonu gerçekleştirilmiş ve tür için optimize edilmiş ddRAD-seq (double-digest Restriction Site Associated DNA sequencing) protokolü uygulanmıştır. Laboratuvar aşamasında, kısıtlama enzimleri ile muamele edilen DNA fragmanları, bireye özgü barkodlu adaptörlerle ligasyon işlemine tabi tutulmuş ve NGS platformlarında yüksek çözünürlüklü veri üretimi için standartlaştırılmıştır. **Biyoinformatik analizler neticesinde tanımlanan binlerce SNP lokusu üzerinden popülasyon genelindeki genetik bağlantılar, akrabalık ilişkileri ve olası genetik riskler incelenmektedir.** Elde edilen verilerle gerçekleştirilen filogenetik ve popülasyon genetiği çalışmaları, **Türkiye'nin bilinen tek *B. Variegata* gen havuzunun** korunma stratejilerinin belirlenmesi ve yerel popülasyonun sürdürülebilirliği adına kritik öneme sahip temel genomik altyapıyı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Bombina variegata*, Koruma Genetiği, ddRAD-seq, Popülasyon Yapısı, Edirne.

Abstract

The Yellow-bellied Toad (*Bombina variegata*) exhibits an extremely limited distribution in Türkiye, with its only known population residing in the Enez district of Edirne according to current records. This study is conducted to characterize the genomic structure of this unique population, assess its genetic integrity, and understand micro-evolutionary processes. Fieldwork involved collecting tissue samples from several localities within the region.

During the methodological stage, high-purity genomic DNA was isolated, and an optimized ddRAD-seq protocol was implemented. In the laboratory phase, DNA fragments treated with restriction enzymes were ligated with individual-specific barcoded adapters and standardized for high-resolution data generation on NGS platforms. **Utilizing thousands of identified SNP loci, phylogenetic and population genetic analyses are being carried out to investigate genetic connectivity, kinship relationships, and potential genetic risks within the population.** The data generated through these studies provide the foundational genomic infrastructure essential for determining conservation strategies and ensuring the sustainability of **the only known *B. Variegata* gene pool in Türkiye**.

Keywords: *Bombina variegata*, Conservation Genetics, ddRAD-seq, Population Structure, Edirne

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVESİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE BAZI TEKNOLOJİK GELİŞMELER

CURRENT APPROACHES AND SOME TECHNOLOGİCAL DEVELOPMENTS İN SUSTAİNABLE AGRİCULTURE WİTH İN THE FRAMEWORK OF CLİMATE CHANGES

Ezgi Yağmur SATIL[1], Feyza Nur KAFADAR[2], Ali Mücahit GÜNEŞ[3], Canan CAN[4]

[1] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0003-2206-7345

[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0003-3544-2979

[3] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0003-9996-1898

[4] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-0473-1914

ÖZET

Dünyada tarım ve gıda üretim sistemleri; nüfus artışı, doğal kaynakların aşırı kullanımı ve değişikliğinden olumsuz etkilenmektedir. Bu etmenler üretim süreçlerini tehlikeye atarak, tarım ve gıda üretiminde sürdürülebilir sistemlere geçişi gerektirmektedir. İklim değişikliği hem tarımı hem de milyonlarca insanın gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Bu noktada gelişmiş teknolojiler önem kazanmaktadır. Yapay Zeka (YZ), iklim verilerini analiz ederek verimliliği artıran stratejik bir araçtır. YZ; mahsul izleme, verim tahmini, hassas tarım ve hastalık tespiti gibi alanlarda kullanılmaktadır. YZ, toprak özelliklerinin analizinde de etkili olmaktadır. Bu destek, üretim planlamasını iyileştirerek verimliliği artırır ve kaynak israfını azaltır. Yapay zeka ile sağlanan dijital iyileştirmelerin yanı sıra, malzeme bilimindeki gelişmeler de sürdürülebilir tarım için yenilikçi çözümler sunmaktadır. Bu kapsamda nanogübreler; bitkiye bir ya da birden fazla besin elementi sağlayan ve bitkinin büyüme ve gelişmesini destekleyen nanomalzemeler olarak tanımlanmaktadır. Bitkiler tarafından kolayca alınabilen, toprakta etkisini koruyan yavaş salınımlı nanogübrelerdir. Nanogübreler, bitki kök ve yaprak gözenek boyutundan daha küçük boyutlara sahiptirler. Bunlar, bitkinin biyolojik direncini artırarak değişken atmosferik koşullara karşı koruma sağlar ve toprakta kimyasal gübre kullanımını azaltır. Ayrıca, tarımda kullanılan nanogübreler, bitkiye aktif maddelerin yapraktan püskürtülerek uygulanması sayesinde topraktaki aşırı kimyasal gübre kullanımını azaltarak, optimum besin yönetimi sayesinde ürün miktarını arttırmaktadırlar. Birçok üstün özelliklerine rağmen nanogübrelerin bazı olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Nanoteknolojide kullanılan nano partiküller insan sağlığı ve çevre açısından önemli riskler oluşturabilmektedir. Ancak teknolojik avantajlara ve hükümetlerin teşviklerine rağmen kullanım düzeyi sınırlı kalmaktadır. Bu benimseme süreci; çiftçilerin risk toleransı, program faydalarına ilişkin algıları ve koruma konusundaki tutumları gibi kişisel görüşlerine derinden bağlı, karmaşık bir yapıdır. Yapay Zeka (YZ) tabanlı veri analizleri ve nanoteknolojik uygulamalar, tarımda

verimliliği artırmak için kilit araçlardır. Özellikle nano gübreler, bitkinin çevresel stres faktörlerine karşı direncini artırırken; YZ uygulamaları kaynak israfını azaltmaktadır. Ancak, nano malzemelerin olası olumsuz etkileri ve çiftçilerin bu teknolojileri benimseme sürecindeki sosyoekonomik kısıtlamalar, sürecin sadece teknik değil, aynı zamanda insani ve çevresel bir dengeyle yürütülmesi gerektiğini göstermektedir. Sonuç olarak, gıda güvenliğini sağlamak adına teknolojik yenilikler, kapsamlı çiftçi eğitimleri ve sürdürülebilir tarım desteklenerek teşvik edilmelidir.

Anahtar kelimeler: Sürdürülebilir Tarım, Yapay Zeka, Nanogübreler, Gıda Güvenliği, İklim Değişikliği.

ABSTRACT

Global agricultural and food production systems are increasingly threatened by population growth, overuse of natural resources, and climate change. These pressures endanger production processes and require a transition toward more sustainable agricultural systems. Climate change, in particular, poses a serious risk to both crop productivity and the food security of millions of people worldwide. In response, advanced technologies are becoming essential tools for maintaining and improving agricultural sustainability. Artificial Intelligence (AI) has emerged as a strategic solution capable of analyzing large climate and environmental datasets to enhance decision-making and productivity. AI is widely used in crop monitoring, yield prediction, precision farming, disease detection, and irrigation management. It also enables detailed analysis of soil characteristics, supporting more accurate production planning, higher efficiency, and reduced waste of water, fertilizers, and energy. Alongside digital innovations, developments in materials science provide additional solutions for sustainable agriculture. Nanofertilizers are defined as nanomaterials designed to supply one or more essential nutrients to plants while supporting their growth and development. These fertilizers are typically slow-release, remain stable in the soil, and can be easily absorbed by plants due to their extremely small size, which is smaller than the pore structures of roots and leaves. Nanofertilizers enhance plant resistance to environmental stress, protect crops under changing climatic conditions, and reduce dependence on conventional chemical fertilizers. When applied through foliar spraying, they deliver active nutrients directly to plant tissues, improving nutrient use efficiency and increasing crop yield while minimizing soil contamination. Despite these advantages, nanofertilizers also raise concerns. Nanoparticles may pose risks to human health and the environment, and uncertainties about long-term effects limit widespread adoption. In addition, farmers acceptance of such technologies depends on complex factors, including risk perception, economic capacity, knowledge level, and attitudes toward environmental conservation. Therefore, the integration of AI-based analytics and nanotechnology should be managed carefully. Ensuring food security requires not only technological innovation but also farmer education, supportive policies, and a balanced approach that considers environmental sustainability and acceptance.

Keywords: Sustainable Agriculture, Artificial Intelligence, Nanofertilizers, Food Security, Climate Change

Lucanus cervus (LINNAEUS, 1758) (Geyik Böceği) ALT TÜRLERİNİN TÜRKİYE'DEKİ YAYILIŞLARI VE EKOLOJİK ÖNEMİ

Fatma ÖZMEN[1], Doç. Dr. Mehmet YARAN[2], Prof. Dr. Murat KÜTÜK[3]

[1] Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Biyomühendislik ve Bilimleri Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye, Orcid: 0000-0002-4998-6486

[2] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2151-5471

[3] Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0003-1567-1002

ÖZET

Lucanus cervus (Linnaeus, 1758) (Geyik Böceği), Lucanidae familyasına ait ve Avrupa'nın en büyük böceklerinden biri olarak bilinen karizmatik bir türdür. Saproksilik yaşam biçimi nedeniyle çürümüş odunlara bağımlı olan *L. cervus*, organik maddenin parçalanmasına katkı sağlayarak orman ekosistemlerinde kritik bir ekolojik rol üstlenmektedir. Türün yaşadığı habitatlar, özellikle yaşlı ve çürümüş odun varlığı ile meşe ve diğer geniş yapraklı ağaç türlerinin bulunduğu alanların kritik öneme sahip olduğu belirlenmiştir. Türkiye'de yapılan çalışmalar, türün popülasyonlarında habitat kaybı, yaşlı ormanların azalması ve antropojenik baskılar nedeniyle belirgin bir azalma eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, türün IUCN Kırmızı Listesi'nde "Tehdide Yakın (Near Threatened)" kategorisinde yer almasıyla da uyumludur. *Lucanuscervus* ve alt türlerinin korunması, yalnızca türün devamlılığı açısından değil, aynı zamanda orman ekosistemlerinin sürdürülebilirliği ve biyolojik çeşitliliğin korunması açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, *Lucanuscervus* alt türlerinin Türkiye'deki mevcut durumu ve yayılışıyla ilgili literatür taraması yapılarak taksonomik, morfolojik, ekolojik ve biyocoğrafik açıdan değerlendirmektir.

Bu çalışmada, Türkiye'de bulunan *Lucanuscervus*'a ait üç alt türün (*Lucanus cervus cervus* Linnaeus, 1758, *Lucanus cervus akbesianus* Planet, 1896ve *Lucanus cervus judaicus* Planet, 1902) Türkiye'deki yayılışları ve ekosistem tercihleri üzerine literatür araştırmaları yapılmıştır. Araştırmalar sonucunda *L. c. cervus*'un daha geniş bir alana yayıldığı ve özellikle Akdeniz Bölgesi ile Toros Dağları boyunca yoğunlaştığı gözlenmiştir. Buna karşın *L. c. akbesianus* ve *L. c. judaicus* daha sınırlı ve parçalı bir dağılım göstermektedir. Bu alt türlerin Türkiye'deki yayılışları, literatür taraması temel alınarak hazırlanmış haritalarda gösterilmiş olup, bu görseller alt türlerin coğrafi dağılımını görsel olarak desteklemektedir. Bu sonuçlar, *Lucanus cervus* alt türlerinin Türkiye'deki popülasyonlarının devamlılığının sağlanması ve ekosistem hizmetlerinin korunması için, türlerin habitat tercihleri, dağılım desenleri ve ekolojik gereksinimlerine dayalı entegre koruma stratejilerinin geliştirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelime: *Lucanus cervus*, *Lucanus cervus akbesianus*, *Lucanus cervus cervus*, *Lucanus cervus judiacus*, alt tür

SUSTAINABLE ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL SYNTHETIC FIBER REINFORCED COMPOSITES: MECHANICAL PERFORMANCE OF JUTE/BASALT HYBRID COMPOSITES

Omar KHESHKAR [1], Furkan PALA [2], Nurettin Furkan DOĞAN [3]

[1] Mechanical Engineering Department, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gaziantep University, Turkiye, Orcid: 0009-0009-9788-9806

[2] Mechanical Engineering Department, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gaziantep University, Turkiye, Orcid: 0009-0000-2129-8254

[3] Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering,

Gaziantep University, Turkiye, Orcid: 0000-0002-2728-8660

Abstract

Millions of tons of fiber-reinforced polymer composites are produced globally each year and widely used in automotive, aerospace, construction, and marine applications. Although glass and carbon fiber composites remain dominant owing to their high mechanical performance, their production involves considerable energy consumption, carbon emissions, and end-of-life recycling challenges. Reported energy requirements are approximately 183-286 MJ/kg for carbon fiber and 13-54.7 MJ/kg for glass fiber production. Therefore, there is increasing interest in renewable or naturally derived reinforcement systems that can reduce environmental impact without severely compromising mechanical performance. Natural fiber-reinforced composites offer advantages such as low density, biodegradability, and lower environmental burden; however, their limited mechanical strength restricts their direct use in structural applications. In this respect, hybrid composite design provides an effective strategy by combining the environmental benefits of natural fibers with the superior mechanical performance of mineral or synthetic fibers. In this study, the mechanical performance of jute/basalt woven fabric-reinforced epoxy composites was investigated. Four laminate configurations, namely pure basalt (B), pure jute (J), jute-basalt-jute (JBJ), and basalt-jute-basalt (BJB), were produced using the hand lay-up method with an LR635/LH635 epoxy matrix system. The specimens were subjected to tensile, three-point bending, and Charpy impact tests according to ASTM D3039, ASTM D790, and ISO 179 standards, respectively. The results showed that fiber type, fiber content, and stacking sequence strongly influenced the mechanical response. Pure basalt exhibited the highest tensile strength with 503.03 MPa, whereas pure jute showed the lowest value at approximately 68 MPa. Among the hybrid laminates, JBJ provided higher tensile strength than BJB, with values of 144.41 MPa and 110.73 MPa, respectively, indicating that the placement of basalt in the core contributed positively to tensile response and deformation capacity. In contrast, BJB showed the highest flexural strength among all configurations, reaching 241.47 MPa. This improvement can be attributed to the positioning of basalt layers on the outer surfaces, where bending stresses are more dominant. Charpy impact results also supported the advantage of basalt-rich configurations. Pure basalt reached the highest impact toughness of 99.20 kJ/m², while BJB and JBJ exhibited values of 71.37 and 67.05 kJ/m², respectively. Overall, jute/basalt hybrid composites can be considered promising sustainable alternatives for semi-structural

applications requiring moderate mechanical performance. The BJB sequence is more suitable for rigidity- and flexural strength-oriented designs, whereas JBJ may be preferred where tensile performance and deformation capacity are prioritized.

Keywords: Basalt fiber, sustainability, hybrid composite, jute fiber, mechanical characterization, natural fiber composite

EVALUATION OF CAMERA TRAP-BASED POPULATION ESTIMATION APPROACHES FOR WILDLIFE RESEARCH IN TÜRKİYE

Ali ÇELİK

Karadeniz Technical University, Department of Wildlife Ecology and Management, Trabzon, Türkiye, Orcıd: 0000-0002-5579-5539

Abstract

Wildlife camera trapping has evolved from early wire-triggered mechanical systems to modern motion-sensitive technologies, becoming an essential tool in ecological research. Since the 2000s, camera traps have rapidly developed, diversified, and become widely used across the world. In Türkiye, their application in wildlife studies dates back approximately two decades, with early research focusing on human–wildlife conflict, species occurrence, activity patterns, habitat use, and basic population assessments.

Population estimation, however, remains a major challenge due to the labor, cost, and effort required by conventional methods. Camera trap-based approaches offer effective alternatives and are broadly classified according to whether individuals can be morphologically identified. Methods developed for marked populations, where individuals can be distinguished based on unique traits, provide robust and reliable estimates. In contrast, frameworks for unmarked populations offer flexible and increasingly adopted solutions across a wider range of species and ecological contexts, particularly where individual recognition is not feasible.

Although widely used globally, the application of advanced population estimation models remains limited in Türkiye. This study provides an evaluation of camera trap-based population estimation approaches, synthesizing current methodologies and assessing their applicability under different ecological conditions in Türkiye.

Integrating camera trap-based density models with traditional survey techniques has the potential to improve the accuracy and reliability of population estimates by reducing bias and increasing data efficiency. Such improvements can support more informed decision-making in wildlife management, particularly for game species, large predators, and conservation planning.

Keywords: Camera trapping, density estimation models, marked and unmarked populations, wildlife management.

AĞ ÖRÜMCEKLERİNİN EKOLOJİK TERCİHLERİ

Abdulsamet KÖSEOĞLU[1], Adile AKPINAR[2], Mehmet YARAN[3]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0003-6148-3763

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-5815-1096

[3]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2151-5471

Özet

Örümcekler (Araneae) dünya üzerinde en geniş yayılış alanına sahip karasal avcı gruplardan biridir ve günümüzde tanımlanmış 53.000'den fazla türe sahiptirler. Bu eklembacaklılar en sıcak çöllerden, en yüksek dağlara ve en derin mağaralara kadar neredeyse her türlü habitat da yaşayabilmektedirler.. Tipik olarak sekiz bacağa sahiptirler ve bu bacaklar sadece hareket için değil bacaklar üzerinde bulunan duyu tüyleri sayesinde hava akımlarını ve titreşimleri algıyan duyu organı gibi de görev yaparlar. Çoğu örümcek türü sekiz göze sahiptir ancak iki göze sahip türler de vardır. Ağ yapması tuzak yeteneğinden ziyade örümceğin biyolojik başarısı için kritik roller üstlenen ve örümceğin ´´genişletilmiş fenotipi´´ olarak kabul edilen karmaşık yapıdır. Ağların temel görevi yapısına ve şekline göre yürüyen veya uçan böcekleri yakalamaktır. Görme yeteneği zayıf olan örümcek türleri için ağlar duyusal alanın bir uzantısı olarak görev yapar. Ağdaki iplikler bir böceğin takılmasıyla titreşir ve örümceğe avın yerini ve boyutunu tespit etmesini sağlar. Örümcek ağları, türlere göre farklılık gösteren ancak temel işlevi avlanma ve barınma olan karmaşık yapılardır. Ağlar yapılarına göre; iki boyutlu orb(tekerlek), üç boyutlu kümeli(cobweb), ipek türleri ve tabaka-huni ağlar olarak birbirinden ayrılırlar. Günümüz teknolojisinde örümcek ağları savunma sanayisinde, biyomimetik ve malzeme bilimi, tarım ve zararlı yönetimi, ekolojik gösterge ve izleme gibi alanlarda kullanılmaktadır. Tanımı yapılan örümceklerin bazıları ağ yaparak bazıları pasif avlanarak yaşamlarını sürdürürler. Bu çalışmada ağ yapan örümceklerin ekolojik tercihleri ağ özellikleri arasındaki çok boyutlu ilişkiyi bütüncül bir çerçevede ele alarak mevcut literatürde incelenen bulguları bir araya getirmeyi hedeflemiştir. Bu bağlamda ağ yapısı yalnızca av yakalama aracı değil aynı zamanda çevresel şartlara gösterilen uyumların bir çıktısı olduğu mevcut güncel literatür taranarak vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Örümcekler, Habitat, Ekoloji, Örümcek Ağı

A STUDY ON THE CHARPY IMPACT PERFORMANCE OF GLASS FİBER/VİNYL ESTER COMPOSİTES ENHANCED WİTH CHOPPED JUTE FİBERS

Muhammed Fatih YILDIZ[1], Samir HASANOV[2], Asiye Nur YILDIRIM[3], Mehmet Mutlu TAŞ[4], Abdulsamet YOLDAŞ[5], Mehmet Çağatay AKBOLAT[6], Ferhat YETİŞ[7]

[1]Gaziantep University, Aerospace Engineering, Gaziantep, Türkiye,
Orcid: 0009-0001-4812-2774
[2]Gaziantep University, Aerospace Engineering, Gaziantep, Türkiye,
Orcid: 0009-0002-5676-4563
[3]Gaziantep University, Aerospace Engineering, Gaziantep, Türkiye,
Orcid: 0009-0000-5415-4660
[4]Gaziantep University, Aerospace Engineering, Gaziantep, Türkiye,
Orcid: 0009-0001-1004-5427
[5]Gaziantep University, Aerospace Engineering, Gaziantep, Türkiye,
Orcid: 0009-0001-9548-089X
[6]Gaziantep University, Aerospace Engineering, Gaziantep, Türkiye,
Orcid: 0000-0001-7579-6478
7Marmara Forestry Research Institute,
Orcid: 0000-0003-2778-8144

Abstract

Nowadays, global warming and climate change represent some of the most pressing challenges to environmental sustainability. Rapid industrialization, the widespread reliance on fossil fuels, and increasing carbon emissions have intensified these issues, creating an urgent need for environmentally responsible solutions in both energy systems and material technologies. In this context, material selection and engineering design play a critical role in mitigating environmental impacts. Composite materials, such as glass- and carbon fiber–reinforced thermosets, are extensively used in aerospace, defense and renewable energy sectors due to their high specific strength, fatigue resistance, and durability compared to conventional metals. However, the production of synthetic fibers is energy-intensive, and their non-biodegradable nature, coupled with limited recycling options, poses serious sustainability concerns. These challenges are particularly evident in applications like wind turbine blades, where end-of-life disposal often involves landfilling. Natural fibers have emerged as a promising alternative due to their biodegradability, low cost, and lower environmental footprint. Despite these advantages, their relatively inferior mechanical properties prevent them from fully replacing synthetic fibers in high-performance structural applications. Therefore, rather than direct substitution, this study adopts a hybrid approach by incorporating natural fibers as interlaminar toughening agents within synthetic fiber composites. Specifically, this work investigates the Charpy impact behavior of unidirectional glass fiber–reinforced vinyl ester laminates modified with chopped jute fibers. Both untoughened and toughened composites are manufactured using vacuum-assisted resin infusion, with jute fibers

manually placed between laminate plies during the stacking process. Impact performance is evaluated according to ISO 179 standards. The results demonstrate that the inclusion of chopped jute fibers significantly enhances impact resistance, indicating that natural fiber–based interlaminar toughening can effectively improve energy absorption mechanisms. Overall, the study highlights that integrating natural fibers into conventional composite systems offers a viable pathway toward improving mechanical performance while addressing sustainability concerns, thereby contributing to the development of more environmentally conscious advanced materials.

Keywords: Sustainability, Glass fiber composites, Interlaminar toughnening, Impact, Jute fibers

SERPANTİN ENDEMİĞİ *Noccaea birolmutlui*: NİKEL HİPERAKÜMÜLATÖRLERİ ARASINA YENİ BİR KATKI

SERPENTINE ENDEMIC *Noccaea birolmutlui*: A NEW ADDITION TO NICKEL HYPERACCUMULATORS

Ahmet AKSOY[1], Uğurcan BARAN[2]

[1]Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Botanik, Antalya, Türkiye

Orcıd: 0000-0002-9696-7122

[2] Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Botanik, Antalya, Türkiye

Orcıd: 0000-0001-5403-2444

Özet

Türkiye, nikel hiperakümülatör bitkiler açısından Kuzey Yarımküre'nin en önemli merkezlerinden biridir. Ultramafik (serpantin) toprakların geniş yayılımı sayesinde 60'tan fazla Ni hiperakümülatör takson ve 130'dan fazla serpantin endemiği bulunmaktadır. Serpantin topraklar, yüksek ağır metal içeriği ve düşük makrobesin elementleri nedeniyle bitkiler üzerinde güçlü bir seçilim baskısı oluşturur ve metal toleransı ile hiperakümülasyon gibi özel adaptasyonların gelişmesine yol açmaktadır. Türkiye'deki hiperakümülatörlerin büyük çoğunluğu Brassicaceae familyasında, özellikle Odontarrhena (eski *Alyssum*), Noccaea (eski *Thlaspi*) ve *Bornmuellera* cinslerinde yoğunlaşmaktadır. Genellikle yaprak dokusunda 1000 mg kg^{-1} üzerindeki Ni birikimi hiperakümülasyon için temel kriter olarak kabul edilmektedir. Türkiye'de coğrafi olarak Muğla, Hatay, Erzincan ve Konya gibi bölgeler hiperakümülatör çeşitliliği açısından öne çıkmaktadır. Ancak özellikle Orta ve Doğu Anadolu'daki birçok ultramafik alan hâlâ yeterince araştırılmamıştır. Bu nedenle Türkiye, hem yeni hiperakümülatör türlerin keşfi hem de metal tolerans mekanizmalarının anlaşılması açısından önemli bir araştırma potansiyeli ve saha imkanı sunmaktadır.

Noccaea birolmutlui Özgişi & Özüdoğru, Güneybatı Anadolu'da Isparta ili sınırları içerisindeki Kızıldağ Milli Parkı'ndan 2018 yılında yeni bir tür olarak tanımlanmıştır. Sedir (*Cedrus libani*) orman açıklıklarında, yaklaşık 1400–1500 m yükseltilerde yayılış göstermekte olan bu tür son derece dar bir dağılıma (~1 km^2) sahiptir ve düşük popülasyon büyüklüğü (<1000 birey) nedeniyle kritik tehlike altında (CR) olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma kapsamında *Noccaea birolmutlui* ve yetiştiği alandaki topraktan element analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar bu bitkinin nikel hiperakümülatörü olduğunu göstermektedir. Yaprak dokusunda belirlenen yüksek nikel konsantrasyonu (5391 ppm), klasik hiperakümülatör eşik değerinin (1000 ppm) oldukça üzerindedir. Benzer şekilde kök (1319 ppm) ve toprak (684 ppm) değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde, türün etkin bir alım ve translokasyon kapasitesine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu bulgular, *Noccaea birolmutlui*'nin yalnızca serpantin endemiği bir takson olmanın ötesinde, fitoremediasyon uygulamaları ve metal homeostazı çalışmalarında değerlendirilebilecek önemli bir genetik kaynak ve güçlü bir hiperakümülatör tür olduğunu ortaya koymaktadır. Türün ileride gerçekleştirilecek genomik ve proteomik düzeydeki kapsamlı analizlerle incelenmesi, hiperakümülasyonun altında yatan moleküler ve fizyolojik mekanizmaların aydınlatılmasına önemli katkılar sağlayabilir. Ayrıca, bu bitkinin doğal mikroflorasında yer alan bitki büyümesini teşvik eden bakterilerin (PGPB),

hem fitoremediasyon süreçlerinde destekleyici biyolojik ajanlar hem de sürdürülebilir tarım uygulamalarında biyogübre olarak değerlendirilme potansiyeli bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Hiperakümülatör, *Noccaea birolmutlui*, Serpantin

Abstract

Türkiye represents one of the principal centers of nickel (Ni) hyperaccumulator diversity in the Northern Hemisphere. Owing to the extensive distribution of ultramafic (serpentine) substrates, the country harbors more than 60 Ni hyperaccumulator taxa and over 130 serpentine endemic species. Serpentine soils, characterized by elevated concentrations of heavy metals and low levels of essential macronutrients, impose strong edaphic selection pressures on plant communities, thereby driving the evolution of specialized adaptations such as metal tolerance and hyperaccumulation. In Türkiye, the majority of hyperaccumulator taxa are concentrated within the family Brassicaceae, particularly in the genera *Odontarrhena* (formerly *Alyssum*), *Noccaea* (formerly *Thlaspi*), and *Bornmuellera*. The accumulation of Ni concentrations exceeding 1000 mg kg^{-1} in leaf tissues is widely accepted as the operational threshold for hyperaccumulation. Geographically, regions such as Muğla, Hatay, Erzincan, and Konya stand out as hotspots of hyperaccumulator diversity. Nevertheless, many ultramafic areas, particularly in Central and Eastern Anatolia, remain insufficiently explored. Consequently, Türkiye offers considerable potential for the discovery of novel hyperaccumulator taxa and for advancing our understanding of the physiological and molecular mechanisms underlying metal tolerance.

Noccaea birolmutlui Özgişi & Özüdoğru was described as a new species in 2018 from Kızıldağ National Park, located within the boundaries of Isparta Province in southwestern Anatolia. This species occurs in openings of *Cedrus libani* forests at elevations of approximately 1400–1500 m and exhibits an extremely restricted distribution (~1 km^2). Due to its limited population size (<1000 individuals), it has been assessed as Critically Endangered (CR). In the present study, elemental analyses were conducted on both *N. birolmutlui* and the associated soil from its natural habitat. The results clearly demonstrate that this species is a Ni hyperaccumulator. The exceptionally high Ni concentration detected in leaf tissues (5391 ppm) greatly exceeds the conventional hyperaccumulation threshold (1000 ppm). When considered alongside root (1319 ppm) and soil (684 ppm) Ni concentrations, these findings indicate an efficient uptake and translocation capacity. Collectively, these results suggest that N. birolmutlui is not only a serpentine endemic taxon but also a potent hyperaccumulator species with significant potential as a genetic resource for phytoremediation applications and studies on metal homeostasis. Future investigations employing comprehensive genomic and proteomic approaches may provide critical insights into the molecular and physiological mechanisms governing hyperaccumulation. Furthermore, plant growth-promoting bacteria (PGPB) associated with the native microbiota of this species may serve as promising biological agents to enhance phytoremediation efficiency and as biofertilizers in sustainable agricultural systems.

Keywords: Hyperaccumulator, *Noccaea birolmutlui*, Serpentine

SPERMİN VE MELATONİN UYGULAMALARININ TUZ STRESİ KOŞULLARINDA YETİŞEN *Ocimum basilicum* L.'UN FOTOSENTETİK PARAMETRELER ÜZERİNE ETKİSİ

Emel DIRAZ YILDIRIM [1], Emre YAZAR[2], Ferit KOCAÇINAR[2] Şengül KARAMAN[1]

[1]Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye, Orcid:0000-0001-5299-8122

[2]Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği, Kahramanmaraş, Türkiye, Orcid:0000-0003-0249-0798

[3]Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği, 0000-0003-0890-6117

[4]Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye, Orcid:0000-0001-7617-9957

Özet

Tuz stresi, küresel ölçekte tarımsal üretimi sınırlandıran en önemli abiyotik stres faktörlerinden biri olup, toprakta biriken yüksek tuz konsantrasyonları; ozmotik ve iyonik dengesizliklere yol açarak fotosentez, su alımı ve metabolik süreçleri baskılamakta, böylece bitkisel üretimi ciddi biçimde kısıtlamaktadır. Bu nedenle, bitkilerin tuz stresine toleransını artırmaya yönelik stratejiler tarımsal sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda, bitki büyüme düzenleyicileri ve çeşitli kimyasal bileşiklerin eksojen uygulamalarının, bitkide herhangi bir fitotoksik etki oluşturmaksızın stres toleransını artırdığı ve buna bağlı olarak büyüme ile ürün veriminde anlamlı iyileşmeler sağladığı bildirilmektedir. Bu bağlamda, başlıca poliaminlerden biri olan spermin, tüm ökaryotik organizmalarda bulunmakta ve bitkilerde hücresel büyüme, gelişim ve stres yanıtlarının düzenlenmesinde önemli roller üstlenmektedir. Melatonin, bitkilerde büyüme ve gelişmeyi düzenleyen, abiyotik stres koşullarında antioksidan savunmayı güçlendirerek stres toleransını artıran çok yönlü bir biyostimülant ve sinyal molekülü olarak kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada materyal olarak kullanılan *Ocimum basilicum* L., içerdiği uçucu yağlar ve fenolik bileşikler nedeniyle ekonomik değeri yüksek olan tıbbi ve aromatik bir bitkidir. Ancak stres koşullarında bitkilerin fotosentetik etkinliği önemli ölçüde azalmakta; bu durum bitki büyümesini, gelişimini ve nihai ürün verimini sınırlandıran temel faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada fesleğen tohumları farklı konsantrasyonlarda (0.1 ve 1 mM) spermin ve (1 ve 10 µM) melatonin solüsyonlarında 24 sa bekletilerek, tuzlu koşullarda (100 mM NaCl) yetiştirilmiş, fotosentetik gaz değişim parametreleri (Net CO_2 asimilasyon hızı, Transpirasyon hızı, Stomatal iletkenlik, Fv/Fm oranı, etkin kuantum verimi (ΦPSII)) fotosentez gaz değişim sistemi ile tespit edilmiştir. Bütün parametrelerde tuzlu koşullarda azalış görülürken, uygulama yapılan gruplarda iyileşmeler belirlenmiştir. Sonuç olarak spermin ve melatonin uygulamalarının tuz stresinin fotosentetik gaz parametreleri üzerindeki sınırlayıcı etkisini azalttığı, en etkili grubun 10 µM melatonin uygulamasından elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: fotosentez, eksojen uygulama, bitki büyüme düzenleyicisi, tuzluluk

İSLAHİYE BİBERİNDE GÖRÜLEN BİTKİ HASTALIKLARININ SINIFLANDIRILMASI VE ENTEGRE MÜCADELE YAKLAŞIMLARI

Sudem SERCAN[1], Berna BAŞ[2]

[1,2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Özet

Bu çalışma, *Capsicum annuum* türüne ait ve Türkiye'de özellikle Gaziantep'in İslahiye bölgesinde yaygın olarak yetiştirilen biberlerde görülen hastalıkların detaylı bir şekilde incelenmesini amaçlamaktadır. İslahiye biberi, yüksek ekonomik değeri ve geniş kullanım alanı nedeniyle bölgesel tarımda önemli bir yere sahiptir. Ancak üretim sürecinde karşılaşılan biyotik stres faktörleri, özellikle bitki hastalıkları, verim ve kalite üzerinde ciddi kayıplara yol açmaktadır. Bu bağlamda çalışma, fungal, bakteriyel ve viral hastalıkların sınıflandırılması, belirtileri, yayılma mekanizmaları ve mücadele yöntemlerini kapsamlı bir literatür taraması ile değerlendirmektedir. Çalışmada elde edilen bulgulara göre, İslahiye biberinde en yaygın görülen hastalık grubunu fungal etmenler oluşturmaktadır. Özellikle Phytophthora spp. kaynaklı kök çürüklüğü, yüksek nem ve yetersiz drenaj koşullarında hızla yayılmakta ve bitkide ani solgunluk ile sonuçlanmaktadır. Bunun yanı sıra külleme hastalığı yaprak yüzeyinde beyaz tozumsu bir tabaka oluşturarak fotosentez kapasitesini düşürmekte, Alternaria spp. ise yapraklarda nekrotik lekeler meydana getirerek yaprak dökümüne neden olmaktadır. Fusarium spp. kaynaklı solgunluk hastalığı ise iletim demetlerini etkileyerek bitkinin su ve besin iletimini engellemekte ve bitki ölümüne yol açabilmektedir. Bakteriyel hastalıklar arasında Xanthomonas spp. tarafından oluşturulan bakteriyel leke hastalığı, yaprak ve meyvelerde lezyonlara neden olarak ürün kalitesini düşürmektedir. Ayrıca toprak kaynaklı bakteriyel solgunluk hastalıkları, bitkide hızlı çöküşe neden olmakta ve kontrolü zor hastalıklar arasında yer almaktadır. Viral hastalıklar ise genellikle vektörler aracılığıyla yayılmakta olup, özellikle tütün mozaik virüsü (TMV) ve domates lekeli solgunluk virüsü (TSWV) önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu virüsler bitkide mozaik desenler, deformasyonlar ve gelişme geriliği gibi belirtiler oluşturmaktadır. Çalışmada ayrıca, yaprak bitleri, beyaz sinekler ve trips gibi zararlıların viral hastalıkların yayılmasında önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Bu durum, hastalık yönetiminde yalnızca patojenlerin değil, aynı zamanda vektör organizmaların da kontrol altına alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, bitki hastalıklarının erken teşhisinde görüntü işleme ve yapay zeka tekniklerinin etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, İslahiye biberinde görülen hastalıkların önlenmesi için entegre mücadele yöntemlerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır. Sağlıklı fide kullanımı, uygun sulama ve drenaj sistemleri, ekim nöbeti ve hijyen uygulamaları hastalıkların yayılmasını azaltmada etkili olmaktadır. Ayrıca erken teşhis ve doğru müdahale, üretimde sürdürülebilirliğin sağlanması açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Anahtar kelimeler: İslahiye biberi, bitki hastalıkları, fungal hastalıklar, verim kaybı, entegre mücadele

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE MÜCADELEDE KENTSEL BİYOÇEŞİTLİLİĞİN KORUNMASININ ÖNEMİ: YEŞİL KORİDOR YAKLAŞIMI ÜZERİNDEN BİR ARAŞTIRMA

THE IMPORTANCE OF CONSERVING URBAN BIODIVERSITY IN COMBATING CLIMATE CHANGE: A STUDY THROUGH THE GREEN CORRIDOR APPROACH

Hatice AY[1],Elif Nisa ERCAN [2], Fatma YILMAZ[3]

[1]Bartın Üniversitesi, Ulus Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Tapu ve Kadastro Programı, Bartın, Türkiye, Orcid: 0000-0003-3173-4931

[2] Bartın Üniversitesi, Ulus Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Tapu ve Kadastro Programı, Bartın, Türkiye, Orcid: 0009-0002-6777-5313

[3] Bartın Üniversitesi, Ulus Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Tapu ve Kadastro Programı, Bartın, Türkiye, Orcid: 0009-0005-0689-4919

Özet

Küresel çevre sorunları, özellikle iklim değişikliği, 19. yüzyıldan itibaren bu yana dünyada önemli bir mesele olarak varlığını sürdürmektedir. İklim değişikliği, insan faaliyetleri sonucunda atmosfer bileşiminin değişmesiyle ortaya çıkmakta ve sera gazlarının birikimine bağlı olarak küresel ısınmayı artırmaktadır. Endüstri Devrimi sonrasında atmosferdeki karbondioksit (CO_2) seviyelerinde meydana gelen artış, küresel sıcaklıkların sürekli yükselmesine neden olmaktadır. Bu küresel değişim süreci, özellikle insan faaliyetlerinin yoğunlaştığı kentsel alanlarda daha belirgin hale gelmektedir. Günümüzde dünya nüfusunun yarısından fazlası kentlerde yaşamaktadır. Kentler, küresel enerji tüketiminin yaklaşık %60'ından ve sera gazı emisyonlarının %70'inden fazlasından sorumludur. Bu durum, kentleri iklim değişikliği ile mücadelede kritik aktörler haline getirmektedir. Hızlı kentleşme süreci, iklim değişikliğini hem tetikleyen hem de etkilerinden etkilenen bir olguya dönüştürmüştür. Artan sanayileşme ve ulaşım faaliyetleri, doğal çevre üzerindeki baskıyı artırarak habitat tahribatına yol açmaktadır. Bu sorunların aşılmasına yönelik olarak, kentsel alanlarda biyoçeşitliliğin korunmasını hedefleyen çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlar arasında öne çıkan yeşil koridor yaklaşımı, kentsel gelişim ile doğa koruma arasında denge kurmayı amaçlamaktadır. Yeşil koridor kavramı, 20. yüzyılın başlarına uzanmakta olup, Amerika'da Frederick Law Olmsted'in "Parkways" yaklaşımı ve İngiltere'de Ebenezer Howard'ın "Garden City" modeli ile temellenmiştir. Yeşil koridorlar; hayvanların hareketliliğini, bitki türlerinin yayılımını ve genetik çeşitliliğin korunmasını destekleyen doğrusal ekolojik ağlar olarak tanımlanmaktadır. Bu koridorlar; akarsular, doğal vadiler, parklar ve doğa rezervleri gibi alanları birbirine bağlayarak hem ekolojik sürekliliği sağlamakta hem de insan ile doğa arasındaki etkileşimi güçlendirmektedir. Ayrıca yeşil koridorlar; hava ve gürültü kirliliğinin azaltılması, kentsel ısı adası etkisinin düşürülmesi, yağmur suyu yönetiminin iyileştirilmesi ve biyolojik çeşitliliğin artırılması gibi önemli ekosistem hizmetleri sunmaktadır. Kentsel alanlarda biyoçeşitliliğin korunması kapsamında; yerel türlerin korunması, habitatlar arası bağlantıların güçlendirilmesi, ekosistemlerin çevresel değişimlere uyum kapasitesinin artırılması, doğa ile insan arasındaki ilişkinin geliştirilmesi ve toplumsal refahın desteklenmesi gibi yaklaşımlar ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda yeşil koridorlar, sürdürülebilir yaşam alanlarının oluşturulmasında ve insan-doğa ilişkisinin güçlendirilmesinde önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmanın amacı, iklim

değişikliği ile mücadele kapsamında kentsel biyoçeşitliliğin korunmasını yeşil koridor yaklaşımı üzerinden ele alarak ulusal ve uluslararası uygulama örneklerini incelemektir. Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden doküman analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu doğrultuda, araştırma amacına uygun olarak ulusal ve uluslararası literatürde yer alan yeşil koridor uygulamalarına ilişkin veriler toplanmış ve betimsel analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde Türkiye'deki yeşil koridor uygulamaları çoğunlukla 'dere ıslahı', 'vadi düzenlemesi' ve 'kıyı planlaması' başlıkları altında yürütüldüğü ve ekolojik süreklilikten ziyade rekreasyonel kullanımın ön plana çıktığını göstermektedir. Uluslararası örneklerde ise ölçek büyüdükçe ekolojik işlevlerin belirginleştiği, yerel ölçekte ise rekreasyonel ve sosyal kullanımın daha baskın olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, kentsel biyoçeşitlilik, yeşil koridor yaklaşımı, yeşil altyapı, kentsel planlama

Abstract

Global environmental problems, particularly climate change, have remained a significant issue worldwide since the 19th century. Climate change emerges as a result of alterations in the composition of the atmosphere caused by human activities and increases global warming due to the accumulation of greenhouse gases. Following the Industrial Revolution, the rise in atmospheric carbon dioxide (CO_2) levels has led to a continuous increase in global temperatures. This global transformation has become more evident, especially in urban areas where human activities are concentrated. Today, more than half of the world's population lives in cities. Urban areas are responsible for approximately 60% of global energy consumption and more than 70% of greenhouse gas emissions. This situation makes cities critical actors in combating climate change. Rapid urbanization has transformed climate change into a phenomenon that both affects and is affected by urban development. Increasing industrialization and transportation activities exert pressure on natural environments and lead to habitat destruction. To address these challenges, various approaches have been developed to conserve biodiversity in urban areas. Among these, the green corridor approach stands out as it aims to establish a balance between urban development and nature conservation. The concept of green corridors dates back to the early 20th century and is grounded in Frederick Law Olmsted's "Parkways" approach in the United States and Ebenezer Howard's "Garden City" model in England. Green corridors are defined as linear ecological networks that support animal movement, plant dispersal, and the preservation of genetic diversity. These corridors connect natural elements such as rivers, valleys, parks, and nature reserves, thereby ensuring ecological continuity and strengthening the interaction between humans and nature. Additionally, green corridors provide significant ecosystem services such as reducing air and noise pollution, mitigating the urban heat island effect, improving stormwater management, and enhancing biodiversity. In the context of conserving urban biodiversity, approaches such as protecting local species, strengthening habitat connectivity, increasing ecosystem resilience to environmental changes, enhancing human–nature interaction, and supporting social well-being come to the forefront. In this regard, green corridors are considered an important tool for creating sustainable living environments and reinforcing the relationship between humans and nature. The aim of this study is to examine the conservation of urban biodiversity in the context of combating climate change through the green corridor approach by analyzing national and international case examples. The study employs a qualitative research design based on document analysis. Accordingly, data related to green corridor practices in national and international literature were collected and analyzed using descriptive analysis. The findings indicate that green corridor practices in Türkiye are predominantly implemented

under the frameworks of river rehabilitation, valley arrangements, and coastal planning, where recreational use tends to be prioritized over ecological continuity. In contrast, international examples demonstrate that as the scale increases, ecological functions become more prominent, whereas at the local level, recreational and social uses tend to dominate.

Keywords: Climate change, urban biodiversity, green corridor approach, green infrastructure, urban planning

BİYOPLASTİKLER

Büşra KAYA[1], Remziye Aysun KEPEKÇİ[2]

[1] Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0005-5784-1446

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyoteknoloji, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-7156-5741

Özet

Birleşmiş Milletler Çevre Programı'na göre, her yıl dünya çapında 19 ila 23 milyon ton atık plastik, su kaynaklarına atılmaktadır Sentetik malzemelere olan küresel bağımlılığın artmasıyla birlikte ortaya çıkan plastik kirliliği, mikroplastik birikimine, habitatların bozulmasına ve sera gazı emisyonlarının artmasına katkıda bulunarak önemli bir çevresel tehdit oluşturmaktadır. Özellikle endişe kaynağı olan mikroplastikler daha büyük plastiklerin parçalanmasıyla ortaya çıkan ya da endüstriyel ve tüketici uygulamaları için kasıtlı olarak üretilen parçacıklardır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, bu parçacıkların ekosistemlere ve besin zincirlerine sızdığını ve insanlarda ve yaban hayatında biyobirikim ve potansiyel toksisite gibi riskler oluşturduğunu ortaya koymuştur Küresel olarak, plastik atık yönetimi önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Yenilenebilir biyolojik kaynaklardan elde edilen biyoplastikler, petrol bazlı plastiklere sürdürülebilir bir alternatif sunmaktadır. Biyoplastikler biyolojik olarak parçalanabilir, daha düşük karbon ayak izine sahiptir. Biyoplastikler bitki bazlı malzemelerden ve mikrobiyal fermantasyon yoluyla üretilebilir.Biyoplastikler, çeşitli sektörlerde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Biyoplastikler, ambalajdan tıbbi ekipmanlara ve araç parçalarına kadar birçok üründe daha çevre dostu ve sürdürülebilir malzemenin kullanımının önünü açmaktadır. Biyoplastik üretimi plastik kirliliğini azaltmaya ve çevresel sürdürülebilirliği geliştirmeye yönelik girişimleri desteklemektedir. Günümüzde küresel biyoplastik pazarı, artan çevre kaygıları, tek kullanımlık plastiklere yönelik hükümet düzenlemeleri ve çeşitli sektörlerde sürdürülebilir malzemelerin giderek daha yaygın olarak benimsenmesi nedeniyle köklü bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Güncel analizler, biyoplastik pazarının 2025'te 16,7 milyar ABD dolarından 2034'te 89,2 milyar ABD dolarına, %19,6'lık etkileyici bir yıllık bileşik büyüme oranı (CAGR) ile büyüyeceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada biyoplastik türleri, biyoplastiklerin üretimi, mevcut biyoplastiklerin avantajları ve dezavantajları hakkında güncel bilgi verilerek bu alandaki sınırlamalar tartışılmıştır. İlerleyen yıllarda güçlü yasal destek, artan çevre bilinci ve malzeme bilimindeki yenilikler sayesinde biyoplastiklerin, döngüsel ve düşük karbonlu bir ekonominin şekillenmesinde merkezi bir rol oynayarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada etkili olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Biyoplastikler, plastik atık, mikroplastik, sürdürülebir çevre uygulamaları

ATIK SU ARITIMINDA YEŞİL SENTEZLENMİŞ NANOPARTİKÜLLER
GREEN-SYNTHESIZED NANOPARTICLES IN WASTEWATER TREATMENT

Salih Can ÇAKIR[1], Remziye Aysun KEPEKÇİ[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyoteknoloj, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0009-6656-761X

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyoteknoloji, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-7156-5741

Özet

Dünya yüzeyinin neredeyse üçte ikisi, tüm yaşam formları için hayati önem taşıyan suyla kaplıdır. Temiz ve güvenli suyun giderek azalması problemi, nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme ve iklim değişikliğinin etkisiyle ortaya çıkan kritik bir küresel sorundur. Dünya çapında 2 milyardan fazla insan, güvenli bir şekilde yönetilen içme suyuna erişememektedir. Organik boyalar, ağır metaller, patojenler ve yeni ortaya çıkan kirleticiler sebebiyle oluşan su kirliliği, ciddi sağlık ve çevre riskleri oluşturmaktadır. Artan sanayileşme ve kentsel genişleme, su ortamlarına çok çeşitli toksik kimyasal ve mikrobiyal kirleticilerin salınımının önemli ölçüde artmasına neden olmaktadır. Herkesin temiz ve güvenli su teminine erişimini sağlamak için sürdürülebilir atık su yönetimine acil ihtiyaç duyulmaktadır. Geleneksel su arıtma yöntemleri genellikle enerji yoğun işlemler ve tehlikeli kimyasallara dayanır; bu da ikincil kirleticiler üretebilir ve kırsal ve düşük gelirli topluluklar için sıklıkla erişilemez olabilir. Ayrıca geleneksel su arıtma yöntemleri, günümüzde artış gösteren mikro-kirleticileri gidermede yetersiz kalabilmektedir. Nanoteknoloji alanındaki güncel uygulamalar, yeni nesil atık su teknolojilerinin geliştirilmesinde önemli ölçüde umut vaat etmekte ve mevcut atık su arıtma teknolojilerinin yerini alma potansiyeline sahiptir. Son yıllarda, yarı iletken metal oksit (MO) nanofotokatalizörler, benzersiz fizikokimyasal özellikleri, yüksek yüzey-hacim oranı ve enerji depolama, çevresel iyileştirme, algılama, optoelektronik ve biyomedikal sistemlerdeki çok işlevli uygulamaları nedeniyle çok sayıda araştırmanın konusu olmuştur. ZnO, CuO, TiO_2, WO_3, Bi_2O_3 ve CeO_2 gibi yaygın olarak araştırılan metal oksitler, kirleticilerin fotokatalitik bozunmasında dikkate değer bir potansiyel sergilemiştir.Bu nanopartiküller, çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yaklaşımlar kullanılarak sentezlenir. Kimyasal ve fiziksel yöntemlerle karşılaştırıldığında biyolojik veya yeşil sentez yöntemleri, toksik olmayan ön maddeler ve ılımlı reaksiyon koşulları kullanarak nanopartikül üretimi sağladığı için nanofotokatalizör geliştirilmesinde çevreyle dost bir alternatif sunmaktadır. Fotokataliz süreci, ışık enerjisi (UV veya görünür güneş ışığı) ve yeşil sentez yoluyla elde edilmiş bir yarı iletken katalizör (yaygın olarak Titanyum Dioksit veya Çinko Oksit nanaopartikülleri) varlığında gerçekleşen bir kimyasal reaksiyon zinciridir. Bu reaksiyon sırasında oluşan yüksek oksidasyon potansiyeline sahip hidroksil radikalleri, su içerisindeki dirençli organik kirleticileri, ilaç kalıntılarını ve endüstriyel çözücüleri etkili bir şekilde parçalayarak zararsız son ürünler olan karbondioksit ve suya dönüştürür. Bu yöntem, ek bir kimyasal madde kullanımına gerek duymaması ve güneş enerjisi ile entegre edilebilmesi sayesinde "minimalist" ve "temiz" teknoloji sınıflarına girmektedir. Yeşil sentezle üretilen bu nanopartiküllerin, ekolojik uyumlulukları, yapısal ayarlanabilirlikleri ve gelişmiş fotokatalitik aktiviteleri, onları yeni nesil arındırma teknolojileri için kilit malzemeler haline getirmektedir. Bu çalışmada yeşil sentezle üretilmiş nanopartiküllerin su arıtımında

kullanılabilme potansiyeli incelenerek bu konuda mevcut sınırlar tartışılmıştır. Gelecekte yeşil nanobiyoteknoloji, ekoloji ve malzeme mühendisliği alanlarının disiplinlerarası entegrasyonunun sürdürülmesi ile biyolojik yolla üretilen nanopartiküllerin, laboratuvar inovasyonundan ölçeklenebilir çevresel çözümlere geçişi mümkün olacaktır.

Anahtar kelimeler: Nanobiyoteknoloji, yeşil sentez, su arıtımı, nanofotokatalizör

Abstract

Nearly two-thirds of the Earth's surface is covered by water, which is of vital importance for all forms of life. The problem of the dwindling supply of clean and safe water is a critical global issue arising from population growth, industrialisation, urbanisation and the effects of climate change. Worldwide, over 2 billion people lack access to safely managed drinking water. Water pollution caused by organic dyes, heavy metals, pathogens and emerging pollutants poses serious health and environmental risks. Increasing industrialisation and urban expansion are leading to a significant rise in the discharge of a wide variety of toxic chemical and microbial pollutants into aquatic environments. There is an urgent need for sustainable wastewater management to ensure everyone has access to clean and safe water. Traditional water treatment methods typically rely on energy-intensive processes and hazardous chemicals; this can generate secondary pollutants and is often inaccessible to rural and low-income communities. Furthermore, traditional water treatment methods may prove inadequate in removing micro-pollutants, which are on the rise today. Current applications in the field of nanotechnology hold significant promise for the development of next-generation wastewater technologies and have the potential to replace existing wastewater treatment technologies. In recent years, semiconductor metal oxide (MO) nanophotocatalysts have been the subject of numerous studies due to their unique physicochemical properties, high surface-to-volume ratio, and multifunctional applications in energy storage, environmental remediation, sensing, optoelectronics and biomedical systems. Commonly studied metal oxides such as ZnO, CuO, TiO_2, WO_3, Bi_2O_3 and CeO_2 have demonstrated significant potential in the photocatalytic degradation of pollutants. These nanoparticles are synthesised using various physical, chemical and biological approaches. Compared to chemical and physical methods, biological or green synthesis methods offer an environmentally friendly alternative in the development of nanophotocatalysts, as they enable nanoparticle production using non-toxic precursors and mild reaction conditions. The photocatalytic process is a chain of chemical reactions that occurs in the presence of light energy (UV or visible sunlight) and a semiconductor catalyst obtained via green synthesis (commonly titanium dioxide or zinc oxide nanoparticles). The hydroxyl radicals formed during this reaction, which possess a high oxidation potential, effectively break down resistant organic pollutants, pharmaceutical residues and industrial solvents in water, converting them into harmless end products: carbon dioxide and water. As this method requires no additional chemical additives and can be integrated with solar energy, it falls into the categories of 'minimalist' and 'clean' technologies. The ecological compatibility, structural tunability and advanced photocatalytic activities of these nanoparticles produced via green synthesis make them key materials for next-generation purification technologies. This study examines the potential of nanoparticles produced via green synthesis in water treatment and discusses the current limitations in this regard. In the future, through the continued interdisciplinary integration of green nanobiotechnology, ecology and materials engineering, it will be possible to transition from laboratory innovations to scalable environmental solutions using biologically produced nanoparticles.

Keywords: Nanobiotechnology, green synthesis, water treatment, nanophotocatalyst

TERELLIA VIRENS GRUP İÇERİSİNDE 16S rDNA BÖLGESİNİN TÜR DÜZEYİ FİLOGENETİK AYRIMA KATKISININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Esra TAŞÇI[1], Esra ATACAN DOĞAN[2], Vedat GÖRMEZ[3], Murat KÜTÜK[4]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid:0009-0006-6301-3222

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0003-0267-2700

[3]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-8136-8226

[4]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid:0000-0003-1567-1002

Özet

Meyve sinekleri familyası Tephritidae içerisinde yer alan *Terellia* Robineau-Desvoidy, 1830 cinsi, morfolojik olarak birbirine yakın tür grupları içermesi nedeniyle taksonomik ve filogenetik açıdan dikkatle değerlendirilmesi gereken bir gruptur. Bu cins içerisinde yer alan *virens* grup türleri arasında morfolojik benzerliklerin fazla olması, tür düzeyindeki ilişkilerin yalnızca dış morfolojiye dayalı olarak yorumlanmasını güçleştirebilmektedir. Bu nedenle moleküler belirteçlerin filogenetik çözünürlük düzeyinin test edilmesi, grup içerisindeki tür sınırlarının ve akrabalık ilişkilerinin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı illerinden toplanarak Gaziantep Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Entomoloji Laboratuvarı'nda entomolojik müze koşullarında muhafaza edilen materyal üzerinden, *virens* grup içerisinde yer alan *T. friedbergi*, *T. uncinata* ve *T. virens* türlerine ait bireyler değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, 16S rDNA gen bölgesinin bu türler arasındaki filogenetik ilişkilerin belirlenmesinde katkısını ortaya koymaktır. Bu doğrultuda belirlenen türlere ait 16S rDNA sekansları hizalanmış ve elde edilen veri seti üzerinden filogenetik analizler gerçekleştirilmiştir. Filogenetik değerlendirmede ana yaklaşım olarak Maximum Likelihood yöntemi kullanılmış, UPGMA ve Maximum Parsimony analizleri ise elde edilen bulguların desteklenmesi amacıyla değerlendirilmiştir.

Elde edilen filogenetik ağaçlar, 16S rDNA bölgesinin incelenen türler arasında güçlü ve kararlı bir tür düzeyinde ayrım sağlamadığını göstermiştir. Farklı yöntemlerle oluşturulan ağaçlarda *T. friedbergi*, *T. uncinata* ve *T. virens* bireylerinin türlere özgü, açık biçimde ayrılmış ve güvenilir biçimde desteklenen bağımsız kümeler oluşturmadığı görülmüştür. Bu durum, analiz edilen 16S rDNA bölgesinin söz konusu türler arasında yeterli filogenetik ayrım taşımadığını düşündürmektedir.

Sonuç olarak, 16S rDNA bölgesi *T. friedbergi*, *T. uncinata* ve *T. virens* türleri arasında tür düzeyinde güçlü, kararlı ve ayırt edici bir filogenetik yapı ortaya koymamıştır. Bu bulgu, 16S rDNA'nın *virens* grup içerisindeki yakın ilişkili türlerin ayrımında tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. Bu nedenle, grup içerisindeki tür düzeyi ilişkilerin daha güvenilir yorumlanabilmesi için 16S rDNA verilerinin, daha yüksek ayırt edici güce sahip ek moleküler belirteçlerle desteklenmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Terellia*, *virens* grup, 16S rDNA, filogenetik analiz, Tephritidae.

TERELLIA RHAPONTICI BİREYLERİNDE FARKLI GEN BÖLGELERİNİN TÜR İÇİ FİLOGENETİK ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ

(DIPTERA: TEPHRITIDAE)

Esra ATACAN DOĞAN[1], Murat KÜTÜK[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid:0000-0003-0267-2700

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid:0000-0003-1567-1002

Özet

Moleküler filogenetik çalışmalar, yakın akraba taksonların ve aynı tür içerisindeki bireyler arasındaki genetik farklılıkların değerlendirilmesinde önemli bilgiler sağlamaktadır. Ancak kullanılan gen bölgesinin sahip olduğu varyasyon düzeyi, elde edilen filogenetik çözünürlüğü doğrudan etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, *Terellia rhapontici* bireylerinde mtCOI ve 16S rDNA gen bölgelerinin tür içi filogenetik çözünürlüğe katkısının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Materyal olarak Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Entomoloji Laboratuvarı'nda entomolojik müze koşullarında muhafaza edilen *T. rhapontici* erginleri kullanılmıştır. Morfolojik olarak teşhis edilmiş *T. rhapontici* bireylerinden DNA izolasyonu gerçekleştirilmiş, ardından mtCOI ve 16S rDNA gen bölgelerine yönelik PCR analizleri yapılmıştır. PCR ürünleri agaroz jel elektroforezi ile kontrol edilerek hedef bölgelerin başarılı şekilde çoğaltıldığı doğrulanmış ve uygun örnekler sekans analizine gönderilmiştir. Elde edilen mtCOI ve 16S rDNA dizileri ayrı ayrı hizalanarak analiz edilmiştir. Filogenetik ilişkiler, mtCOI ve 16S rDNA gen bölgelerine ait diziler kullanılarak Maximum Likelihood yöntemiyle MEGA12 programında değerlendirilmiş; ağaçların güvenilirliği 1000 tekrarlı bootstrap analizi ile test edilmiştir. Ayrıca DnaSP programı kullanılarak haplotip dağılımı, bireyler arasında nükleotid farklılığı gösteren pozisyonlar ve haplotip çeşitliliği değerleri belirlenmiştir.

mtCOI ve 16S rDNA gen bölgeleri birlikte değerlendirildiğinde, *T. rhapontici* bireyleri arasında sınırlı düzeyde tür içi genetik farklılık bulunduğu belirlenmiştir. mtCOI analizinde 5 sekansa ait 612 güvenilir nükleotid pozisyonu, 16S rDNA analizinde ise 4 sekansa ait 330 güvenilir nükleotid pozisyonu incelenmiştir. Her iki gen bölgesi de düşük düzeyde varyasyon göstermesine rağmen, 16S rDNA bölgesi daha kısa analiz uzunluğuna karşın mtCOI'ye göre daha fazla nükleotid farklılığı ve daha yüksek haplotip çeşitliliği ortaya koymuştur. Maximum Likelihood ağaçları da bu durumu desteklemiş; mtCOI ağacında iç dallanmalar sınırlı destek gösterirken, 16S rDNA ağacı bireyler arasında daha belirgin bir iç yapı sunmuştur. Bu bulgular, mevcut örneklemde 16S rDNA'nın tür içi filogenetik ayrım gücü bakımından mtCOI'ye kıyasla daha bilgilendirici olabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, incelenen *T. rhapontici* örnekleminde mtCOI ve 16S rDNA gen bölgeleri tür içi düzeyde sınırlı genetik farklılık göstermiştir. Bununla birlikte 16S rDNA bölgesi, daha kısa analiz uzunluğuna rağmen mtCOI'ye göre daha fazla nükleotid farklılığı ve daha yüksek haplotip çeşitliliği ortaya koymuştur. Bu bulgular, mevcut örneklemde 16S rDNA'nın *T.*

rhapontici bireyleri arasındaki tür içi filogenetik ayrımı yansıtmada mtCOI'ye kıyasla daha bilgilendirici olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada sınırlı sayıda örnekler değerlendirilerek sonuçlar elde edilmiştir. Daha fazla birey ve ek gen bölgelerinin kullanılmasıyla yapılacak olan çalışmalar ile tür içi genetik yapısının daha güvenilir biçimde açıklanmasına katkı sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: *Terellia rhapontici*, mtCOI, 16S rDNA, tür içi varyasyon

MONITORING and ASSAEEMENT of AIRBORNE *Cladosporium* Link and Alternaria Nées SPORES İN DİKİLİ (İZMİR) TURKIYE

Demet YILMAZKAYA GOGUS[1], Aycan TOSUNOGLU[2]

[1] Gaziantep Islam Science and Technology University, Botany, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-8777-695X

[2] Bursa Uludag University, Botany, Bursa, Türkiye

Orcid:0000-0003-2303-672X

Abstract

Cladosporium Link and *Alternaria* Nées are known as common aeroallergens. They are also induced chronic bronchitis, asthma and hypersensitivity pneumonitis. In recent years, the incidence and prevalence of allergic diseases have increased worldwide, and as a result, research into these allergens has also increased.

In this study, airborne spores of Dikili (İzmir) atmosphere were collected by Durham gravimetric sampler for two-year period (2015-2016). The daily, monthly and annual variations of spores/cm^2 of *Cladosporium* and *Alternaria* were recorded. A total of 21208 of spores/cm^2 belonging to *Cladosporium* (17488 spores/cm^2) and *Alternaria* (3720 spores/cm^2) were determined. *Cladosporium* (%58.47) was determined as the dominant spore type and *Alternaria* (%12.44) were founded commonly in Dikili atmosphere. The highest concentration of *Cladosporium* spores was recorded in June 2015, while the highest concentration of *Alternaria* spores was recorded in September 2015. A correlation analysis was performed between daily meteorological data and *Cladosporium* and *Alternaria* spores. By this study, the first aeromycological profile of Dikili has been given and new information on the field of aerobiology in Turkey has been provided.

Key words: Aeromycology, Conidia, Spore concentration, İzmir

ERCİYES DAĞI'NDA (KAYSERİ, TÜRKİYE) YAYILIŞ GÖSTEREN YER ÖRÜMCEKLERİNİN (GNAPHOSIDAE) SHANNON-WIENER ÇEŞİTLİLİK İNDEKSİ AÇISINDAN VERTİKAL DEĞERLENDİRİLMESİ

[1]Durmuş OK, [2]Osman SEYYAR, [3]Mehmet YARAN

[1]Nevsehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Avanos Güzel Sanatlar Meslek Yüksekokulu, Bitkilsel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Nevşehir, Türkiye

Orcid: 0000-0001-8784-6356

[2]Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Niğde, Türkiye, Orcid: 0002-0002-0920-7943

[3] Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2151-5471

ÖZET

Gnaphosidae familyası dünya genelinde 154 cinse ait 2500 türle temsil edilen büyük bir örümcek familyasıdır. Türkiye'de ise 35 cinse ait 169 türle hem cins hem de tür sayısı bakımından en zengin örümcek familyasını oluşturmaktadır. Bu familyaya ait türler karasal habitatlarda geniş bir dağılım göstermekte ve ekolojik adaptasyonları bakımından dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, Erciyes Dağı'nda yayılış gösteren yer örümcekleri (Araneae: Gnaphosidae) 2018-2020 yılları arasında faunistik olarak incelenmiş ve türlerin vertikal dağılımları ortaya çıkarılmıştır. Arazi çalışmaları 2018-2020 yılları arasında Mayıs-Eylül aylarında gerçekleştirilmiştir. Örnekleme yöntemleri olarak çukur tuzak, silkeleme şemsiyesi ve elle toplama teknikleri kullanılmıştır. Tür teşhisleri stereomikroskop altında genital organlar kullanılarak yapılmıştır. Araştırma sonucunda Gnaphosidae familyasından 16 cinse ait 29 tür tespit edilmiştir. Türlerin vertikal dağılımları Shannon-Wiener çeşitlilik indeksi ile analiz edilmiş ve yükseklik arttıkça tür çeşitliliğinin azaldığı gözlenmiştir. En yüksek çeşitlilik 1500-2000 m yüksekliklerde (H'=3.21), en düşük çeşitlilik ise 3000-3500 m'de (H'=0.00) belirlenmiştir. Yüksekliğin biyoçeşitlilik üzerindeki etkisi, özellikle tür zenginliği ve dağılım kalıpları açısından ekolojik araştırmaların odak noktasını oluşturmaktadır. Yükseklikle birlikte değişen iklim koşulları, habitat çeşitliliği ve kaynak mevcudiyeti türlerin dağılımını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen bilgiler, yüksekliğin tür çeşitliliğine olan etkisinin bir noktaya kadar olumlu olduğu ancak yükseklik arttıkça kaynakların ve ekolojik parametrelerin sınırlayıcı etkisi nedeniyle çeşitliliğin azaldığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Araneae , Gnaphosidae, *Shannon-Wiener, Erciyes Dağı*

DOĞU ANADOLU *SCROPHULARIA* TAKSONLARINDA POLİNATÖR KOMPOZİSYONU SIKI TAKSONOMİK FİLTRELEMEYE İŞARET ETMEKTEDİR

POLLINATOR COMPOSITION INDICATES STRICT TAXONOMIC FILTERING IN EASTERN ANATOLIAN SCROPHULARIA TAXA

Oğuz Kaan GÜLDAĞ[1], Mert ELVERİCİ[2], Fatih DİKMEN[3], Halil İbrahim TÜRKOĞLU[4], Faruk YILDIZ[5] Şifanur UĞURLU[6], Işıl ÇOLAK[7], Samed ŞİMŞEK[8], Kemal Volkan ÖZDOKUR[9], Hüseyin AKŞİT[10], Ali KANDEMİR[11]

[1]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Biyoloji, Erzincan, Türkiye,
Orcid: 0009-0009-7249-9246,
[2]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Biyoloji, Erzincan, Türkiye,
Orcid: 0000-0003-3233-9968,
[3]İstanbul Üniversitesi, Biyoloji,
Orcid: 0000-0001-8251-5881,
[4]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Biyoloji, Erzincan, Türkiye,
Orcid: 0000-0002-1400-2993,
[5]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Biyoloji, Erzincan, Türkiye,
Orcid: 0000-0003-1937-6748,
[6]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Kimya, Erzincan, Türkiye,
Orcid: 0000-0002-7128-1861 ,
[7]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Kimya, Erzin can, Türkiye,
Orcid: 0009-0004-8575-035X,
[8]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Kimya, Erzincan, Türkiye,
Orcid: 0000-0001-8451-3425,
[9]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Eczacılık, Erzincan, Türkiye,
Orcid: 0000-0002-9540-7203,
[10]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Biyoloji, Erzincan, Türkiye,
Orcid: 0000-0002-1509-851X
[11]Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Biyoloji, Erzincan, Türkiye,
Orcid: 0000-0003-1902-9631

Özet

Otsu çiçekli bitki cinsi *Scrophularia* üyeleri, bitki-polinatör birlikte evrimi ile yönlendirilen oldukça özelleşmiş floral adaptasyonlar sergilemektedir. Bu çiçek özelleşmeleri iyi belgelenmiş olmasına rağmen, böcek polinatörlerinin karşılıklı adaptasyonlarına dair veriler yetersiz kalmaktadır. Görünüşte 'genelci' olan *Scrophularia* türleri bile çoğunlukla Hymenoptera (Apidae, Halictidae, Vespidae) ve Diptera (Syrphidae) takımlarından oluşan

sınırlı polinatör gruplarına ev sahipliği yaparken; tek bir takson tarafından ziyaret edilen türlerin de bilinmesi aşırı derecede özelleşmeye işaret etmektedir. Ancak, Türkiye'deki *Scrophularia* taksonları arasındaki polinatör çeşitliliği ve özelleşme seviyeleri hakkında çok az şey bilinmektedir.

Bu eksikliği gidermek amacıyla, dar yayılışlı lokal endemiklerden (ör. jips veya serpantin obligatları) 3000 m rakıma ulaşabilen diğer dar veya geniş yayılışlı taksonlara kadar, Doğu Anadolu'da oldukça heterojen dağılım örüntüleri sergileyen 11 *Scrophularia* taksonunda standartlaştırılmış polinatör örneklemesi gerçekleştirdik. Literatürle uyumlu olarak, toplam çeşitlilik 20 Hymenoptera (Andrenidae, Apidae, Halictidae, Vespidae, Tenthredinidae) ve 10 Diptera (Syrphidae) morfotüründen oluşmuştur.

Hymenoptera tüm taksonları ziyaret etmiş ve literatürle uyumlu olarak Syrphidae'nin baskın olduğu *S. canina* hariç tüm taksonlarda dominant grup olmuştur. *S. xanthoglossa* var. *decipiens*'te ise Syrphidae ve Halictidae eşit derecede baskın bulunmuştur. Geriye kalan taksonlar belirgin, gruba özgü özelleşmeler sergilemiştir: *S. fatmae* ve *S. kotschyana Bombus* (Apidae) üzerine; *S. catariifolia* ve *S. subaequiloba* Vespidae (*Dolichovespula*, *Vespula*, *Polistes*) üzerine; ve *S. rimarum*, *S. erzincanica* ile *S. lucida* ise Halictidae (*Lasioglossum*, *Halictus*) üzerine özelleşmiştir.

İncelenen bitkiler arasında belirgin bir özelleşme gradyanı ortaya çıkmıştır. *S. libanotica* var. *sivasica*, *S. libanotica* subsp. *armena* ve *S. xanthoglossa* var. *decipiens* en zengin polinatör komünitelerine (8–11 morfotür) ev sahipliği yapmıştır. Buna karşılık, en özelleşmiş taksonlar yalnızca 1–5 morfotüre ev sahipliği yapmış olup, bu taksonlar kesinlikle tek bir baskın familya tarafından yönetilmiş ve toplam familya zenginliği hiçbir zaman ikiyi geçmemiştir. Sonuç olarak bu bulgular, son derece çeşitli coğrafi dağılım veya edafik arka planlarına rağmen *Scrophularia* türlerinin polinatör gruplarında katı bir taksonomik filtreleme sergilediklerini göstermekte ve belirli tercihlere dayalı, derin bir evrimsel özelleşmeyi vurgulamaktadır.

Bu çalışma, TÜBİTAK 124Z346 no.lu projesi ile desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: özelleşme, polinatör ekolojisi, entomoloji, bitki polinatör ağları, çiçek

Abstract

Members of the herbaceous flowering genus *Scrophularia* exhibit highly specialized floral adaptations driven by plant-pollinator coevolution. While these specializations are well-documented, reciprocal data on their insect pollinators remain scarce. Even seemingly 'generalist' *Scrophularia* host restricted pollinator guilds—predominantly Hymenoptera (Apidae, Halictidae, Vespidae) and Diptera (Syrphidae)while single-taxon visitation indicates extreme specialization. However, pollinator diversity and specialization levels among Turkish *Scrophularia* taxa remain poorly known.

To address this, we standardized pollinator sampling across 11 East Anatolian *Scrophularia* taxa exhibiting highly heterogeneous distributions, ranging from narrow local endemics (e.g., gypsic or serpentine obligates) to widespread taxa reaching 3000 m. Consistent with the literature, total diversity comprised 20 Hymenoptera (Andrenidae, Apidae, Halictidae, Vespidae, Tenthredinidae) and 10 Diptera (Syrphidae) morphospecies.

Hymenoptera visited all taxa and dominated all but *S. canina*, which was Syrphidae-dominated, in accordance with the literature. In *S. xanthoglossa* var. *decipiens*, Syrphidae and

Halictidae were equally dominant. The remaining taxa displayed clear, group-specific specializations: *S. fatmae* and *S. kotschyana* specialized on *Bombus* (Apidae); *S. catariifolia* and *S. subaequiloba* on Vespidae (*Dolichovespula*, *Vespula*, *Polistes*); and *S. rimarum*, *S. erzincanica*, and *S. lucida* on Halictidae (*Lasioglossum*, *Halictus*).

A distinct specialization gradient emerged among the studied plants. *S. libanotica* var. *sivasica*, *S. libanotica* subsp. *armena*, and *S. xanthoglossa* var. *decipiens* harboured the richest communities (8–11 morphospecies). Conversely, the most specialized taxa hosted only 1–5 morphospecies, strictly governed by a single dominant family, with total family richness never exceeding two. Ultimately, these findings demonstrate that despite their highly diverse geographic and edaphic backgrounds, *Scrophularia* species exhibit strict taxonomic filtering in their pollinator guilds, highlighting profound, trait-driven evolutionary specialization.

This study was supported by TÜBİTAK Project No. 124Z346.

Keywords: specialization, pollinator ecology, entomology, plant pollinator networks, flower

GAZİANTEP İLİNİN DOĞA TURİZMİ VE BİYOÇEŞİTLİLİK TEMELLİ EKOTURİZM POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: MEVCUT DURUM VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Ebru BOZLAR[1],Fatih YAYLA[2], Banu GÖKÇEK[3], Şeyda YILMAZ[4]

[1]Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Şehitkamil, Gaziantep, Türkiye, Orcıd: 0000-0001-9414-2760

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Şehitkâmil, Gaziantep, Türkiye Orcıd: 0000-0002-6490-6288

[3]Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Şehitkamil, Gaziantep, Türkiye Orcıd: 0000-0002-5097-0078

[4]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Şehitkâmil, Gaziantep, Türkiye Orcıd: 0000-0002-2262-432X

ÖZET

Bu derleme çalışmasında, Gaziantep ilinin doğa turizmi ve biyoçeşitlilik temelli ekoturizm potansiyeli; mevcut durumun sistematik biçimde tasvir edilmesi, yapılan akademik ve kurumsal çalışmaların etkilerinin değerlendirilmesi ve gelecek perspektiflerinin ortaya konulması amacıyla incelenmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin geçiş zonunda, Akdeniz iklimi ile karasal iklim arasında konumlanan Gaziantep ili; topografik çeşitliliği, bozkır–orman–sulak alan habitat mozaiği ve göç yolları üzerinde bulunan stratejik konumu nedeniyle dikkate değer bir biyolojik çeşitliliğe sahiptir.

Gaziantep Üniversitesi Biyoloji Bölümü ile Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından yürütülen biyoçeşitlilik envanter çalışmaları sonucunda 3.000'in üzerinde canlı türü ile 240 civarında endemik bitki türü kayıt altına alınmıştır. Huzurlu Tabiat Parkı, Burç Tabiat Parkı, Sof Dağı, Habeş Kanyonu, Karkamış Sulak Alanı (Ekopark) ile Hancağız ve Tahtaköprü baraj gölleri; başta yayla turizmi, kuş gözlemi, doğa yürüyüşü, foto safari, kamp–karavan ve kanyon–tekne turizmi olmak üzere çok sayıda doğa temelli faaliyete olanak sağlamaktadır.

Mevcut çalışmalar, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'nca hazırlanan Gaziantep Tabiat Turizmi Master Planı'nın stratejik çerçevesinde; ekoturizm alanlarının envanterlenmesi, SWOT analizleri, ziyaretçi profili belirleme ve yerel halk algısının çözümlenmesi başlıkları altında yoğunlaşmıştır. Bu çalışmaların; alanların görünürlüğünün artırılması, akademik veri tabanının genişletilmesi ve yerel paydaşların farkındalığının yükseltilmesi yönünde belirgin etkiler ürettiği belirlenmiştir. Diğer taraftan altyapı ve üstyapı yetersizlikleri, tanıtım–pazarlama eksiklikleri, eğitimli rehber azlığı ve iklim değişikliğine bağlı baskılar gibi yapısal sorunlar varlığını sürdürmektedir.

Gelecek perspektifi bağlamında; taşıma kapasitesine dayalı ziyaretçi yönetimi, gastronomi ve agroturizmle entegre rotalar, dijitalleşme tabanlı yorumlama altyapıları, jeopark başvuru süreçleri, yerel kalkınmaya dönük topluluk temelli ekoturizm modelleri ve Antep fıstığı peyzajları gibi kültürel-tarımsal ekosistemlerin koruma–kullanım dengesinde değerlendirilmesi önerilmektedir.

Çalışma; Gaziantep'in ekoturizm potansiyelinin sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde planlı biçimde harekete geçirilmesi durumunda, hem doğal–kültürel mirasın korunmasına hem de yerel ekonomik kalkınmaya stratejik bir katkı sunabileceğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulgular ışığında; ulusal koruma mevzuatı, üniversite araştırmaları, sivil toplum girişimleri ve özel sektör yatırımları arasında çok aktörlü bir yönetişim modelinin kurgulanması, ilin ekoturizm vizyonunun gerçekleştirilebilmesi açısından elzem görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gaziantep, ekoturizm, biyoçeşitlilik, doğa turizmi, sürdürülebilir turizm, korunan alanlar, GAP bölgesi.

CAN ZOOPLANKTON BE DETECTED WITHOUT SAMPLING? PRELIMINARY OPTICAL RESULTS FROM A DAPHNIA SP. POPULATION

Pınar GÜRBÜZER[1,2]

[1]Sinop University, Faculty of Fisheries, Department of Hydrobiology, Limnoekoloji, zooplankton, akuatik optik ekoloji, Sinop, Türkiye, Orcıd: 0000-0001-6298-8905

[2]Post-Doc Researcher, University of Turkish Aeronautical Association, Astronautical Engineering Department

Abstract

Zooplankton are key components of freshwater ecosystems and can serve as indicators of ecological status, trophic dynamics, and environmental changes. Zooplankton communities studied using traditional methods are now also the subject of physics-based research utilizing emerging technologies, such as underwater camera systems and acoustic methods. In this study, we explored the suitability of detecting living zooplankton spesifically *Daphnia* sp. population using a spectral-angular optical measurement approach developed for optically complex inland waters. Spectral responses were compared against blank measurements using pure water to evaluate detectability. Experiments have been conducted using cultured *Daphnia* sp. individuals in laboratory conditions. Repeated measurements were performed across scattering angles between 0° and 160° and wavelengths ranging from 423 to 718 nm, covering the visible spectrum and lower near-infrared region. The results showed a strong forward-scattering dominance across all wavelenghts. These indicate that, despite variability arising from organism movement, repeatable optical signatures distinguishable from background water signals can be detected in active *Daphnia* sp. populations. Considering their body size, *Daphnia* sp.'s are expected to exhibit geometric light scattering. However, their external morphological structure, movement behavior and inner anatomical structure can also be indicated to contribute to the observed optical patterns. These findings demonstrate the potential of optical methods for real-time detection of zooplankton in freshwater systems.

Keywords: Zooplankton detection, *Daphnia* sp., optical monitoring, inland waters

TOPRAK ALTINDA YAŞAMAYA UYUM SAĞLAMIŞ BİR TÜR OLAN *Nannospalax xanthodon*'DA TÜKÜRÜK BEZLERİNİN MORFOOLOJİK VE HİSTOLOJİK OLARAK İNCELENMESİ ÜZERİNE İLK GÖZLEMLER

PRELİMİNARY OBSERVATİONS ON THE MORPHOLOGİCAL AND HİSTOLOGİCAL CHARACTERİSTİCS OF THE MAJOR SALİVARY GLANDS İN Nannospalax xanthodon (MAMMALİA: RODENTİA), A SPECİES ADAPTED TO SUBTERRANEAN LİFE

Candan YAYLA TOPCU [1], Alexey YANCHUKOV[2], Faruk ÇOLAK[3]

[1]Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zooloji, Zonguldak, Türkiye,

Orcid:0009-0002-3661-2562

[2]Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zooloji, Zonguldak, Türkiye,

Orcid: 0000-0002-9613-8770

[3]Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zooloji, Zonguldak, Türkiye,

Orcid:0000-0003-3985-7864

Özet

Memelilerde tükürük bezleri temel olarak üç ana işlevle ilişkilidir: sindirim süreçlerinin başlatılması, ağız boşluğunun kayganlaştırılması ve oral mukozanın korunması. Özellikle dilaltı (sublingual) ve çenealtı (submandibular) tükürük bezlerinin muköz salgıları, ağız yüzeylerinde kaygan bir tabaka oluşturarak mekanik irritasyonu azaltabilir ve partiküllerin uzaklaştırılmasına katkıda bulunabilir. Buna karşılık, parotis bezi genellikle seröz yapıdadır ve enzimatik sindirimle ilişkilidir.

Kör fareler (Spalacidae), kazmayı kesici dişleriyle gerçekleştiren ve çoğunlukla yer altında yaşayan kemiricilerdir. Bu türlerde kraniyal ve dental morfoloji üzerine çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, büyük tükürük bezlerinin morfolojisi ve histolojik organizasyonu hakkında bilgiler oldukça sınırlıdır. Bu çalışma, *Nannospalax xanthodon'*daki büyük tükürük bezlerinin makroskobik ve histolojik özelliklerini tanımlamayı ve elde edilen bulguları diğer kemirici türlerinde bildirilen verilerle karşılaştırarak yeraltı yaşamına ilişkin olası fonksiyonel yorumları tartışmayı amaçlamaktadır.

Ön makroskobik gözlemler, *Nannospalax xanthodon'*da parotis bezinin kolaylıkla tanımlanabildiğini ve cerrahi olarak izole edilebildiğini göstermektedir. Buna karşın, submandibular ve sublingual bezlerin birbirleriyle yakın ilişkili olduğu, bazı bireylerde kısmen üst üste geldiği veya birleşmiş görünüm sergilediği ve çoğu zaman çevredeki yağ dokusu ile örtülü olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, bazı örneklerde disseksiyon sırasında bu bezlerin belirgin şekilde ayrılabildiği de görülmüş olup, bu durum olası anatomik varyasyonları düşündürmektedir. Benzer şekilde mukus açısından zengin salgı sistemleri daha önce kör farelerin lingual tükürük bezlerinde tanımlanmış olsa da, bu yapıların ayrıntılı anatomik tanımı eksik kalmıştır.

Nannospalax xanthodon'daki büyük tükürük bezlerinin genel organizasyonu diğer kemiricilerde tanımlanan yapılarla benzerlik göstermekle birlikte, submandibular ve sublingual bezler arasındaki yakın ilişki, yeraltı yaşamına ve bitkisel ağırlıklı beslenmeye

bağlı fonksiyonel gereksinimleri yansıtıyor olabilir. Toprak altında yaşayan kemiricilerde oral dokular, toprak partiküllerine ve mekanik strese maruz kalabilmektedir. Bu koşullar altında tükürük salgılarının, ağız yüzeylerinin kayganlaştırılması ve korunmasında önemli rol oynayabileceği düşünülmektedir. Çalışmamız, Kör Farelerde üç büyük tükürük bezinin tamamının anatomisini tanımlayan ilk çalışmadır..

Anahtar kelimeler: Tükürük bezleri, *Nannospalax*, Kemirici

Bu çalışma Türkiye Bilimsel veTeknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir (Türkiye'ye Özgü Bir Yeraltı Kemirgeni Olan Körfarede (Nannospalax Sp.) Genom Yapısal Varyasyonunun Tükürük Bezlerinde İfade Edilen Genlere ve Gen Ailelerine Odaklanarak Araştırılması -124N012)

Abstract

In mammals, salivary glands are mainly associated with three primary functions: the initiation of digestive processes, lubrication of the oral cavity, and protection of the oral mucosa. In particular, mucous secretions from sublingual and submandibular salivary glands may form a slippery layer on oral surfaces, reducing mechanical irritation and contributing to the removal of particles. In contrast, the parotid gland is typically serous and associated with enzymatic digestion.

Blind mole rats (Spalacidae) are rodents that dig using their incisor teeth and live predominantly underground. Although numerous studies have examined cranial and dental morphology in these species, information on the morphology and histological organization of the major salivary glands remains quite limited. The present study aims to describe the macroscopic and histological characteristics of the major salivary glands in Nannospalax xanthodon and to discuss possible functional interpretations related to subterranean life by comparing the findings with those reported for other rodent species.

Preliminary macroscopic observations indicate that the parotid gland in *Nannospalax xanthodon* can be readily identified and surgically isolated. In contrast, the submandibular and sublingual glands appear closely associated and may partially overlap or appear fused in some individuals, often covered by surrounding fatty tissue. However, these glands can also be clearly separated during dissection in some specimens, suggesting potential anatomical variability. Similar mucous-rich secretory systems have previously been described in lingual salivary glands of mole rats, but the description of their precise anatomy was missing.

Although the overall organization of the major salivary glands in *Nannospalax xanthodon* resembles that described in other rodents, the close association between the submandibular and sublingual glands may reflect functional requirements related to subterranean life and specific plant-rich diet . In fossorial rodents, oral tissues may be exposed to soil particles and mechanical stress. Under such conditions, salivary secretions could play an important role in lubrication and protection of oral surfaces. Our study is the first to characterize the anatomy of all three salivary glands in Blind Mole Rats.

Keywords: Salivary glands, *Nannospalax*, Rodent

This work was supported by the Türkiye Bilimsel veTeknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) [Türkiye'ye Özgü Bir Yeraltı Kemirgeni Olan Körfarede (Nannospalax Sp.) Genom Yapısal Varyasyonunun Tükürük Bezlerinde İfade Edilen Genlere ve Gen Ailelerine Odaklanarak Araştırılması -124N012]

GNAPHOSİDAE (ARANEAE) FAUNASI ÜZERİNE EKOLOJİK BİR DEĞERLENDİRME: HABİTAT TERCİHLERİ

Derya ARSLAN TALAPOV[1], Adile AKPINAR[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0008-3455-2299

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-5815-1096

Özet

Örümcekler dünya üzerine yayılmış, kozmopolit dağılım gösteren Arachnida'ya ait canlılardır. Dünyada 53.000, ülkemizde ise 1.322 türü keşfedilen örümcekler ekosistem üzerinde de önemli bir yere sahiptir. Hem predatör olarak zararlı böceklerle beslenmekte hem de kuşlar ve sürüngenlerin besin grubu olarak doğanın dengesine katkı sunmaktadır. Örümceklerin zengin tür çeşitliliği ve neredeyse tüm ekolojik koşullara uyum sağlaması, biyoçeşitlilik açısından bu canlıların önemli bir konumda olmasını vurgulamaktadır. Bu çeşitlilik içerisinde Gnaphosidae (yer örümcekleri) familyası, tür zenginliği bakımından Dünya'da altıncı, Türkiye'de ise ilk sırada yer alması açısından ve geniş alanlarda yayılım göstermesi ile dikkat çekmektedir. Gnaphosidae üyeleri genellikle ağ örmemekte ve açık alanlarda aktif olarak avlanmaktadırlar. Bu aktif avlanma stratejisi sebebi ile bu örümcekler genellikle taş ve kayaların altında, bitki kalıntılarında ve toprağın içinde bulunmaktadırlar. Türkiye' nin bulunduğu konum, ekolojik koşullar ve bitki örtüsü bu familyanın hemen hemen her yerde bulunmasını sağlamaktadır. Örümceklerin kozmopolit dağılıma sahip olmalarına rağmen belirli habitat tercihleri olabilmektedir. Bu tercihlerin incelenmesi ve değerlendirilmesi hem araştırmacılara örümceklerin keşfedilmesi açısından bir yol haritası çizmekte, hem de yayılış gösterdikleri ekosistemdeki ekolojik rollerinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Bu derlemede Gnaphosidae örümceklerinin Dünya genelinde yayılış gösterdikleri habitat ve mikrohabitatlar incelenmiştir. Veri tabanlarında araştırılan 615 Gnaphosidae türünün sadece 133'ünün habitatları belirtilmiştir. Habitat bilgileri veri tabanından alınarak değerlendirilmiş ve yer örümceklerinin bazı cinsleri hariç habitat ve mikrohabitat açısından özel tercihleri bulunmayıp, geniş alanlarda yayılış gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bu açıdan Gnaphosidae örümceklerinin yayılış alanlarının daha fazla araştırılmasına ve veri girişlerinin yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Örümcek, Gnaphosidae, Habitat, Fauna.

AN ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE GNAPHOSIDAE (ARANEAE) FAUNA: HABITAT PREFERENCES

Abstract

Spiders are creatures belonging to the Arachnida order, exhibiting a cosmopolitan distribution across the globe. With 53,000 species discovered worldwide and 1,322 in Türkiye, spiders hold a significant place in ecosystems. They feed on harmful insects as predators and contribute to the balance of nature as a food source for birds and reptiles. The rich species diversity and adaptability to almost all ecological conditions highlight their important position in biodiversity. Within this diversity, the Gnaphosidae (ground spiders) family stands out due to its species richness, ranking sixth in the world and first in Türkiye, and its wide distribution. Members of the Gnaphosidae family generally do not spin webs and actively hunt in open areas. Because of this active hunting strategy, these spiders are usually found under stones and rocks, in plant debris, and in the soil. Türkiye 's location, ecological conditions, and vegetation ensure the presence of this family almost everywhere. Despite their cosmopolitan distribution, spiders may have specific habitat preferences. Examining and evaluating these preferences provides researchers with a roadmap for discovering spiders and contributes to understanding their ecological roles within the ecosystems where they are found. This review examines the habitats and microhabitats of Gnaphosidae spiders worldwide. Of the 615 Gnaphosidae species researched in databases, only 133 had their habitats specified. Habitat information was retrieved from the database and evaluated, concluding that, with the exception of some genera, ground spiders do not have specific habitat or microhabitat preferences and are widely distributed. Therefore, further research and data entry into the distribution areas of Gnaphosidae spiders are needed.

Keywords: Spider, Gnaphosidae, Habitat, Fauna.

KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ FEN FAKÜLTESİ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ETKİNLİKLERİ

Emel DIRAZ YILDIRIM [1], Özlem GÜVEN[2], Serhan URUŞ[3], Erdem AKGÜL[4], Zahide TURAN[5], Sinem TEKİN OKUMUŞ[6]

[1] Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kahramanmaraş,Türkiye, Orcid: 0000-0001-5299-8122

[2]-Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kahramanmaraş,Türkiye, Orcid: 0000-0002-1775-8323

[3]-Kahramanmaraş Sütçü imam Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Kahramanmaraş,Türkiye, Orcid: 0000-0002-4204-9860

[4]-Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, Kahramanmaraş,Türkiye

[5] Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, Kahramanmaraş,Türkiye

[6]-Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, Kahramanmaraş,Türkiye

Özet

Sürdürülebilirlik, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama olanaklarından ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilme ilkesi üzerine temellendirilen bütüncül bir kalkınma yaklaşımıdır. Sürdürülebilir uygulamalar; atıkların azaltılması, kaynakların verimli kullanılması ve ekolojik dengenin korunması yoluyla gezegenin yaşanabilirliğini sürdürmeyi amaçlamaktadır. Üniversiteler gibi bilgi üretim ve yayma misyonuna sahip kurumlarda sürdürülebilirlik eğitimlerinin verilmesi ise kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir. Fen Fakültesi tarafından sürdürülebilirlik teması çerçevesinde planlanan etkinlikler, çevre bilincinin geliştirilmesine yönelik çok boyutlu bir yaklaşım sunmaktadır. Bu kapsamda sıfır atık belgesi alabilmek için Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi ile koordineli birtakım çalışmalar başlatılmıştır. Sıfır Atık Belgesi başvuruları için fakülte içerisine geri dönüşüm kutuları yerleştirilmiş, Ulusal Çevre Bilgi Sistemine (UÇBS) Fakülte adına başvuru yapılmıştır. Fen Fakültesi bünyesinde gerçekleştirilecek söz konusu faaliyetler, sürdürülebilirlik bilincini çok yönlü olarak geliştirmeyi amaçlayan "Yeşil Etkinlikler Haftası" teması altında planlanmıştır. Bu kapsamda sıfır atık kavramı hakkında teorik bilgi edinmek amacıyla Büyükşehir Belediyesi Sıfır Atık Birimi sorumlusu Çevre Yüksek Mühendisi Erdem Akgül tarafından fakültedeki öğrencilere, akademik ve idari personele sıfır atık bilgilendirme toplantısı yapılacaktır. Eğitim sürecini takiben gerçekleştirilecek teknik geziler, öğrencilerin teorik bilgilerini uygulama ile pekiştirmelerine olanak tanıyacaktır. Katı Atık Bertaraf Tesisi ve Deprem Enkazı Geri Dönüşüm Tesislerine yapılacak ziyaretler sayesinde, atık yönetimi süreçleri yerinde gözlemlenecek ve sürdürülebilir uygulamaların pratik boyutları anlaşılacaktır. Etkinliklerin son aşamasını oluşturan "Atıksız Piknik ve Çevre Etkinliği" kapsamında katılımcıların tek kullanımlık ürünlerden kaçınarak kendi ekipmanlarını kullanmaları esasına dayanmaktadır. Bu sayede atık oluşumunun önlenmesi hedeflenirken, aynı zamanda sürdürülebilir yaşam pratiklerinin günlük hayata entegrasyonu teşvik edilmektedir. Etkinlik kapsamında belediye tarafından çorba, çay ve sandviç ikramı yapılacak;

ancak tek kullanımlık ürün getiren katılımcılar bu ikramlardan yararlanamayacaktır. Bunun yanı sıra, öğrencilerin geri dönüşüm materyallerinden ürettikleri yaratıcı tasarımlar ile çevresel sorunlara ilişkin hazırladıkları bilgilendirici posterler etkinlik alanında sergilenecektir. Piknik sonrası çevre temizliği etkinliği yapılarak, kampüs içi çöpler toplanacaktır. Bu uygulama, katılımcıların aktif öğrenme sürecine dahil olmalarını sağlayarak çevre bilincinin kalıcı hale gelmesine katkı sunmaktadır. Sonuç olarak, söz konusu etkinlikler bütüncül bir yaklaşımla hem eğitsel hem de toplumsal düzeyde sürdürülebilirlik farkındalığını artırmayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Atıksız piknik, sürdürülebilir kampüs, sıfır atık

COLLOIDAL SILVER: AN ABIOTIC NANOTECHNOLOGICAL ELICITOR IMPROVING SUNFLOWER PLANTS UNDER DROUGHT and HIGH TEMPERATURE

Ender ŞENER[1] Murat DİKİLİTAŞ[2] Sema KARAKAŞ[3] Abdurrahim KOÇYİĞİT[4] Şahabettin SELEK[5]

[1]Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama, Şanlıurfa, Türkiye

Orcıd: 0009-0004-3516-1872

[2]Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma, Şanlıurfa, Türkiye

Orcıd: 0000-0002-7399-4750

[3]Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme, Şanlıurfa, Türkiye Orcıd: 0000-0003-1617-9407

[4]Bezmialem Vakıf Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye Orcıd: 0000-0003-2335-412X

[5]Bezmialem Vakıf Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, , İstanbul, Türkiye, Orcıd: 0000-0003-1235-3957

ABSTRACT

Colloidal silver, a nanotechnological product, acts as an elicitor when applied at low doses. It stimulates growth and development at advised doses (3 ppm) in normal field conditions while exhibiting antimicrobial properties at high doses (15 ppm and above). Recently, we have discovered that the compound really works well under drought and high temperature conditions through regulating signaling pathways when applied at low doses (1.5-3 ppm). It rapidly activated defense and tolerance mechanisms of sunflower plants when applied at early growing stages. The colloidal silver (Germioo) was applied to sunflower plants at 4- and 8-leaf stages as 25 ml da^{-1} (75 mg colloidal silver) in a volume of 25 litres (3 ppm) in a 10 da planting area. No treatment was made in the control area (10 da). Followed by the harvest, the diameter of the head and weight, leaf area, 100-grain weight, and stem diameter of sunflower plants were significantly higher in colloidal silver-applied plants. The compound triggered reactive oxygen species (ROS) that induced systemic acquired resistance (SAR) and induced systemic resistance (ISR). The level of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POX) and defense-related enzymes such as phenylalanine ammonia lyase (PAL) was significantly enhanced. The antioxidant compound proline level increased while the toxic compound malondialdehyde (MDA) decreased. We evaluated that the compound had attached to the leaf surface due to its high affinity, and it emitted uninterrupted signals throughout the plants during the growth season under high temperature (over 40°C) and severe drought conditions. We also revealed that the compound had no toxicity to human cells at high doses in in vitro conditions. Due to its continuous signaling properties, we could employ this product at multiple stress conditions. We also elucidate that the compound has a great potential to combine with other nanotechnological compounds having different properties. We suggested that this new nanotechnological compound could be used for sustainable agricultural crop plants grown in adverse conditions.

Keywords: Nanomaterials, sunflowers, temperature, stress, colloidal silver

ÖZET

Nanoteknolojik bir ürün olan kolloidal gümüş, düşük dozlarda uygulandığında bir elisitör görevi görür. Normal tarla koşullarında tavsiye edilen dozlarda (3 ppm) büyüme ve gelişmeyi uyarırken, yüksek dozlarda (15 ppm ve üzeri) antimikrobiyal özellikler sergiler. Son zamanlarda, bileşiğin düşük dozlarda (1.5-3 ppm) uygulandığında sinyal yollarını düzenleyerek kuraklık ve yüksek sıcaklık koşullarında gerçekten iyi çalıştığını keşfettik. Erken büyüme aşamalarında uygulandığında ayçiçeği bitkilerinin savunma ve tolerans mekanizmalarını hızla aktive ettiği görülmüştür. Kolloidal gümüş (Germioo), ayçiçeği bitkilerine 4 ve 8 yapraklı aşamalarda 25 litre hacimde 25 ml da^{-1} (75 mg kolloidal gümüş) olarak (3 ppm) 10 da ekim alanına uygulanmıştır. Kontrol alanında (10 da) herhangi bir uygulama yapılmamıştır. Hasadı takiben, ayçiçeği bitkilerinin baş çapı ve ağırlığı, yaprak alanı, 100-tane ağırlığı ve gövde çapı kolloidal gümüş uygulanan bitkilerde önemli ölçüde daha yüksek bulunmuştur. Bileşik, reaktif oksijen türlerini (ROS) tetikleyerek sistemik kazanılmış dayanıklılık (SAR) ve indüklenmiş sistemik dayanıklılığı (ISR) tetiklemiştir. Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POX) gibi antioksidan enzimlerin ve fenilalanin amonia liyaz (PAL) gibi savunma ile ilgili enzimlerin seviyesi önemli ölçüde artmıştır. Antioksidan bileşik olan prolin seviyesi artarken toksik bileşik malondialdehit (MDA) seviyesi azalmıştır. Bileşiğin yüksek afinitesi nedeniyle yaprak yüzeyine tutunduğunu ve yüksek sıcaklık (40°C'nin üzerinde) ve şiddetli kuraklık koşulları altında büyüme mevsimi boyunca bitkiler üzerinde kesintisiz sinyaller yaydığını değerlendirdik. Ayrıca bileşiğin *in vitro* koşullarda yüksek dozlarda insan hücrelerine toksisitesi olmadığını ortaya koyduk. Sürekli sinyal verme özelliği sayesinde bu ürünü çoklu stres koşullarında kullanılabileceğini değerlendiriyoruz. Ayrıca, bileşiğin farklı özelliklere sahip diğer nanoteknolojik bileşiklerle birlikte kullanılmasının büyük bir potansiyele sahip olduğunu da öngörüyoruz. Bu yeni nanoteknolojik bileşiğin olumsuz koşullarda yetiştirilen sürdürülebilir tarımsal ürünler için kullanılabileceğini öneriyoruz.

Anahtar kelimeler: Nanomateryal, ayçiçeği, sıcaklık, stres, kolloidal gümüş

Rubus Spp. TÜRLERİNİN TIBBİ KULLANIMLARI VE EKOLOJİK ÖNEMİ

Ceyda İYİMUTAF[1], Nazım ŞEKEROĞLU[2]

[1]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye
Orcid: 0009-0003-1681-9424

[2]Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye
Orcıd:0000-0002-0630-0106

Özet

Rubus cinsi, Rosaceae familyasına ait 700'den fazla türü kapsayan, apomiksis ve poliploidlik nedeniyle taksonomik olarak karmaşık bir bitki grubudur. Türkiye florasında dokuz takson (*Rubus idaeus, R. sanctus, R. canescens, R. hirtus, R. tereticaulis, R. ulmifolius, R. fruticosus agg., R. discolor ve R. caesius*) doğal olarak yayılış göstermektedir. Bu çalışma, *Rubus* cinsinin taksonomik yapısını, Türkiye'deki etnobotanik kullanımlarını ve güncel akademik literatürde belgelenen farmakolojik aktivitelerini kapsamlı bir şekilde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Etnobotanik araştırmalar, *Rubus* türlerinin Anadolu, Balkanlar ve Orta Doğu'da yaygın geleneksel tıbbi kullanıma sahip olduğunu göstermektedir. Yaprak (%45), meyve (%30) ve kök (%12) en sık kullanılan bitkisel kısımlar olup, dekoksiyon en yaygın hazırlama yöntemidir. Başlıca tedavi endikasyonları sindirim sistemi rahatsızlıkları (%32), yara ve cilt problemleri (%20) ile ağız-boğaz enfeksiyonlarıdır (%16). Geleneksel kullanımlar arasında ishal, hemoroid, yara bakımı, rahim tonikleri ve idrar yolu şikayetleri öne çıkmaktadır. Farmakolojik çalışmalar, bu geleneksel kullanımları güçlü *in vitro* ve *in vivo* kanıtlarla desteklemektedir. Antioksidan aktivite testlerinde *R. hyrcanus* kök ekstraktı DPPH IC_{50} 9,16 µg/mL, *R. idaeus* sürgünleri 19,4 µg/mL ve *R. fruticosus* 14 µg/mL değerleriyle güçlü radikal süpürücü etki göstermiştir. Antimikrobiyal çalışmalarda *R. hyrcanus* kök ekstraktı *S. aureus* ve *B. subtilis*'e karşı 1,5 mg/mL MIC değeri, *R. sanctus* etil asetat fraksiyonu ise 0,18 mg/mL MIC değeri ile etkili bulunmuştur. Antikanser aktivite değerlendirmelerinde Shuofeng böğürtlen antosiyanin fraksiyonu HepG2 hücrelerinde IC_{50} 55,85 µg/mL, HeLa'da 68,62 µg/mL, A549'da 82,01 µg/mL ve MCF-7'de 181,21 µg/mL sitotoksik etki göstermiştir. Antidiyabetik potansiyel açısından *R. fraxinifolius* yaprak ekstraktı α-glukozidaz enzimini IC_{50} 8,86 µg/mL değeriyle inhibe etmiş; klinik bir çalışmada günlük ahududu tüketimi hsCRP düzeylerini anlamlı şekilde azaltmış ve HOMA-IR'de iyileşme eğilimi göstermiştir. Kardiyovasküler etkilerde *R. ulmifolius* yaprak ekstraktı izole rat aort halkalarında %59,31 vazorelaksasyon sağlamış ve intravenöz uygulamada sistolik kan basıncını %38,61, diastolik kan basıncını %51,58 oranında düşürmüştür. Bu farmakolojik aktiviteler, *Rubus* türlerinin biyoaktif bileşenleriyle ilişkilendirilmiştir: antosiyaninler (siyanidine dayalı), elagitaninler (sanguiin H-6, lambertianin C), ellagik asit, flavan-3-oller, klorojenik asit ve kuersetin türevleri.

Ekolojik açıdan; erozyon kontrolü, yangın, orman kesimi veya terk edilme sonrası öncü tür; arılar için polen ve nektar kaynağı, yaz sonu olgunlaşan meyveleri kuşlar, küçük memeliler ve yaban hayvanları için besin kaynağı; habitat sağlama ve korunak, fitoremediasyon (ağır metallerden toprağın temizliği) bakımlarından oldukça önemli görevleri bulunmaktadır. Sonuç olarak, *Rubus* türleri hem geleneksel kullanımları hem de modern farmakolojik kanıtlarıyla

önemli bir tıbbi bitki kaynağı olup, ileri klinik araştırmalar ve fitoterapötik ürün geliştirme çalışmaları için güçlü potansiyele sahiptirler.

Anahtar Kelimeler: *Rubus,* etnobotanik, farmakolojik aktivite, antioksidan, antidiyabetik

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ KAMPÜS FLORASI

GAZIANTEP UNIVERSITY CAMPUS FLORA

Fatih YAYLA[1], Ebru BOZLAR[2], Şeyda YILMAZ[2], Elif KIZILDELİ[4], Rabia CEYLAN[5], Nisa Buket KARA[6], Ceyda İYİMUTAF[7]

[1]Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-6490-6288

[2]Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9414-2760

[3]Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2262-432X

[4]Gaziantep üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0005-0587-6196

[5]Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0006-49999-6306

[6]Gaziantep üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep Türkiye, Orcid: 0009-0001-2343-8318

[7]Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0003-1681-9424

Özet

Bu çalışma, Gaziantep ili Şehitkamil ilçesinde yer alan Gaziantep Üniversitesi kampüs alanının floristik bileşimini ortaya koymak amacıyla yürütülmüştür. Araştırma alanı, Davis'in Türkiye florası için belirlediği grid sistemine göre C6 karesine karşılık gelmekte olup yaklaşık 800–1000 m rakım aralığında yer almaktadır. Alan, İran-Turan fitocoğrafik bölgesi sınırları içinde kalmaktadır. Toplanan 852 herbaryum örneğinin teşhisi sonucunda 63 familya, 223 cins ve 412 taksona ulaşılmıştır. Takson zenginliği bakımından en büyük payı Fabaceae (66 takson, 17 cins), Asteraceae (51 takson, 28 cins), Brassicaceae (26 takson, 19 cins), Poaceae (25 takson, 16 cins) ve Rosaceae (24 takson, 12 cins) oluşturmaktadır. Bu beş familya, kampüs florasının yaklaşık %46'sını tek başına karşılamaktadır ve Anadolu'nun yarı-kurak iç kesimlerinde gözlemlenen tipik familya hiyerarşisiyle uyum içindedir. Saptanan 412 taksonun 35'i (%8,5) Türkiye için endemik statüsündedir. Endemik taksona ev sahipliği yapan başlıca familyalar arasında Fabaceae (6 endemik takson), Lamiaceae (4), Brassicaceae (3) ve Euphorbiaceae (2) öne çıkmaktadır. Bu bulgu, üniversite kampüsü gibi yarı-kentsel bir habitatın bile bölgesel biyoçeşitlilik açısından kayda değer bir işlev üstlenebileceğine işaret etmektedir. Elde edilen sonuçlar, Gaziantep Üniversitesi kampüsünün kentsel flora araştırmaları için değerli bir referans alan niteliği taşıdığını; aynı zamanda endemik ve nadir türlerin izlenmesi, eğitim amaçlı bitki koleksiyonları ile botanik bahçesi çalışmaları bakımından önemli bir potansiyel barındırdığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: kampüs florası, Gaziantep, C6 karesi, İran-Turan fitocoğrafik bölgesi, kentsel flora

Abstract

This study was carried out to reveal the floristic composition of the campus area of Gaziantep University located in the Şehitkamil district of Gaziantep province. The research area corresponds to the C6 square according to the grid system determined by Davis for the flora of Turkey and is in the altitude range of approximately 800-1000 m. The area is within the borders of the Iran-Turan phytogeographic region. As a result of the identification of 852 herbarium specimens collected, 63 families, 223 genera and 412 taxa were reached. The largest share in terms of taxon richness is Fabaceae (66 taxa, 17 genera), Asteraceae (51 taxa, 28 genera), Brassicaceae (26 taxa, 19 genera), Poaceae (25 taxa, 16 genera) and Rosaceae (24 taxa, 12 genera). These five families alone account for approximately 46% of the campus flora and are in harmony with the typical family hierarchy observed in the semi-arid interior of Anatolia. 35 (8.5%) of the 412 taxa identified are endemic to Turkey. Among the main families that host endemic taxa, Fabaceae (6 endemic taxa), Lamiaceae (4), Brassicaceae (3) and Euphorbiaceae (2) stand out. This finding indicates that even a semi-urban habitat such as a university campus can play a significant function in terms of regional biodiversity. The results obtained show that the Gaziantep University campus is a valuable reference area for urban flora research; At the same time, it reveals that it has an important potential in terms of monitoring endemic and rare species, plant collections for educational purposes and botanical garden studies.

Keywords: campus flora, Gaziantep, C6 square, Iran-Turan phytogeographic region, urban flora

GAZİANTEP İLİ ÇAY BİTKİLERİ: ETNOBOTANİK KAYITLARA VE TÜRKİYE GENELİ KARŞILAŞTIRMASINA DAYALI BİR DEĞERLENDİRME

TEA PLANTS İN GAZİANTEP PROVİNCE: AN EVALUATİON BASED ON ETHNOBOTANİCAL RECORDS AND COMPARİSON İN TURKEY

Elif KIZILDELİ[1], Nisa Buket KARA[2], Ebru BOZLAR[3], Fatih YAYLA[4]

[1] Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0005-0587-6196

[2] Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0001-2343-8318

[3] Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-9414-2760

[4] Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-6490-6288

Öz

Gaziantep ili, Güneydoğu Anadolu'nun floristik geçiş özellikleri, yerel mutfak kültürü, aktar pazarı sürekliliği ve coğrafi işaretli bitkisel ürünleri nedeniyle bitki çayı kullanımları açısından özgün bir araştırma alanı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada Gaziantep'te çay, infüzyon, dekoksiyon, sıcak içecek veya bitkisel içecek biçiminde kaydedilen bitkilerin etnobotanik kaynaklara, aktar pazarı verilerine, web ve sosyal/web izlerine, Google Drive çalışma dosyalarına ve Türkiye geneli karşılaştırma veri setine dayalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında derlenen Gaziantep veri setinde 42 familyaya ait 118 özgün takson ve 387 kullanım-amacı belirlenmiştir. Türkiye geneli karşılaştırma veri setinde ise 72 familyaya ait 402 özgün takson ve 1180 kullanım-amacı saptanmıştır. Gaziantep verisinde Lamiaceae 26 taksonla en baskın familya olarak belirlenmiş; bunu Asteraceae, Rosaceae, Apiaceae ve Malvaceae izlemiştir. Kullanım amaçları solunum ve kulak-burun-boğaz rahatsızlıkları, sindirim sistemi, genel sağlık, metabolik ve üriner sistem kümelerinde yoğunlaşmıştır. Kullanılan bitki kısımlarında yaprak, çiçek, meyve/tohum ve toprak üstü kısımlar öne çıkmıştır. Bulgular, Gaziantep bitki çayı repertuarının Türkiye geneli çeşitliliğin küçük bir kopyası olmaktan çok, zahter, meyan, menengiç, nane, adaçayı, rezene ve kuşburnu gibi yerel kültür, aktar pazarı ve coğrafi işaret bağlamında yoğunlaşan bölgesel bir model olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte sosyal/web aktar izlerinin tek başına takson doğrulama kanıtı olarak kullanılmaması, tıbbi kullanımların tedavi önerisi şeklinde sunulmaması ve güvenlilik-doz değerlendirmelerinin resmi monograf ve otorite kaynaklarla yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Gaziantep, çay bitkileri, etnobotanik, tıbbi bitkiler, zahter

Abstract

Gaziantep province was evaluated as a distinctive research area for herbal tea uses because of its floristic transition characteristics, local culinary culture, herbal market continuity and geographically indicated herbal products. In this study, plants recorded in Gaziantep as tea, infusion, decoction, hot beverage or herbal drink were examined using ethnobotanical sources, herbal market records, web and social/web traces, Google Drive working files and a Turkey-wide comparative dataset. In the Gaziantep dataset compiled within the scope of the study, 118 original taxa belonging to 42 families and 387 use-purposes were determined. In the Turkey-wide comparison dataset, 402 original taxa belonging to 72 families and 1180 use-purposes were determined. Lamiaceae was determined as the dominant family in Gaziantep with 26 taxa, followed by Asteraceae, Rosaceae, Apiaceae and Malvaceae. Use categories were concentrated around respiratory and ear-nose-throat disorders, digestive system, general health, metabolic conditions and urinary system uses. Leaves, flowers, fruits/seeds and aerial parts were prominent among the plant parts used. The findings indicated that the Gaziantep herbal tea repertoire is not merely a smaller copy of Turkey-wide diversity; rather, it represents a regional model concentrated around local culture, herbal markets and geographical indication contexts, especially through zahter, licorice, terebinth, mint, sage, fennel and rosehip. However, social/web traces should not be used alone as taxonomic evidence, medicinal uses should not be presented as treatment recommendations, and safety-dose assessments should be based on official monographs and regulatory sources.

Keywords: Gaziantep, herbal teas, ethnobotany, medicinal plants, zahter,

GAZİANTEP İLİ BOYA BİTKİLERİ: TÜRKİYE FLORASIYLA KARŞILAŞTIRMALI SİSTEMATİK BİR DEĞERLENDİRME

DYE PLANTS OF GAZİANTEP PROVINCE: A COMPARATIVE SYSTEMATIC ASSESSMENT WITH TURKEY'S DYE FLORA

Rabia CEYLAN[1], Ceyda İYİMUTAF[2], Şeyda YILMAZ[3], Fatih Yayla[4]

[1] Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0006-49999-6306

[2] Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0009-0003-1681-9424

[3] Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2262-432X

[4] Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-6490-6288

ÖZET

Gaziantep ili, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Akdeniz ve İran-Turan fitocoğrafya bölgelerinin kesişim kuşağında konumlanmakta olup bu coğrafi konum, ilin zengin ve özgün bir bitki örtüsüne sahip olmasına zemin hazırlamaktadır. Türkiye'nin toplam 12.000'i aşan bitki taksonu içinde 123-150 türün geleneksel tekstil boyacılığında kullanıldığı bilinmektedir ve bu çeşitlilik ülkeyi dünya ölçeğinde en önemli etnobotanik boya merkezi konumuna taşımaktadır. Buna karşın Gaziantep ilinin boya bitkisi florası bütüncül bir şekilde henüz incelenmemiştir.

Bu çalışmada; Gaziantep ili ve yakın çevresinde geleneksel halı, kilim ve tekstil boyacılığında kullanılan boya bitkileri sistematik literatür taraması ve alan verisi derleme yöntemiyle belirlenmiş; söz konusu bitkiler tanımlanmış ve Türkiye geneli boya bitkisi envanteriyle karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında toplam 12 bitki türü saptanmış, bu türlerin 11 farklı familyaya ait olduğu tespit edilmiştir. En fazla türü Anacardiaceae familyası iki türle temsil ederken Asteraceae, Berberidaceae, Boraginaceae, Brassicaceae, Fagaceae, Juglandaceae, Lythraceae, Resedaceae, Rubiaceae ve Amaryllidaceae familyaları birer türle yer almaktadır.

Gaziantep için en stratejik boya bitkisi, Nurdağı ilçesi Kömürler Mahallesi'nden temin edilen *Rhus coriaria* L. (sumak) olarak öne çıkmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar; sumak meyvelerinin yün halı ipliklerini boyamada %100 ve %50 konsantrasyonlarda, altı farklı mordan (şap %3-5, demir sülfat %3-5, bakır sülfat %3-5) kombinasyonuyla başarıyla kullanılabildiğini ve ışık haslık değerlerinin 5-7 arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, sumağın yüksek tanen içeriğinin boyayı hem boya kaynağı hem de mordan olarak işlevsel kılmasıyla açıklanmaktadır.

Renk özellikleri açısından belirlenen türlerin %42'sinin sarı ve sarımsı tonlar, %25'inin kahverengi ve siyah, %16'sının kırmızı ve bordo, %8'inin mavi ve mor ile %8'inin turuncu ve zeytin rengi ürettiği saptanmıştır. Türkiye genelindeki bulgularla karşılaştırıldığında Gaziantep'in sarı renk veren bitkiler açısından görece zengin, kırmızı boyacılığı tarihsel açıdan güçlü ancak günümüzde sınırlı düzeyde aktif bir bölge olduğu görülmektedir. Türkiye

genelindeki 50 familya ve 123-150 türlük envantere kıyasla Gaziantep 11 familya ve 12 türle temsil edilmekte olup bu durum alanın potansiyelinin tam olarak ortaya konmadığına işaret etmektedir.

Bu çalışma, Gaziantep ilinin boya bitkisi potansiyelinin bilimsel zemine oturtulması açısından özgün bir katkı niteliği taşımakta; yerel boyacılık mirasının sürdürülebilir kalkınma ile bütünleştirilmesine yönelik politikalar için veri altyapısı oluşturmaktadır. İlerideki araştırmalarda kapsamlı saha çalışmaları yürütülmesi, tarihsel boyacılık belgelerinin derlenmesi ve DOBAG benzeri yerel boyacılık projelerinin hayata geçirilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: boya bitkileri, Gaziantep, etnobotanik, geleneksel tekstil boyacılığı, Güneydoğu Anadolu

Gaziantep Province is in the Southeastern Anatolia Region of Turkey, situated at the confluence of the Mediterranean and Irano-Turanian phytogeographical zones. This strategic geographical position endows the province with a remarkably rich and diverse flora. Within Turkey's botanical heritage of over 12,000 plant taxa, approximately 123–150 species are recognized as traditional textile dye plants, establishing the country as one of the world's foremost centers of ethnobotanical dyeing practice. Despite this significance, a comprehensive investigation of Gaziantep's dye plant flora had not previously been undertaken.

This study aims to identify, describe, and comparatively evaluate the dye plants of Gaziantep Province used in traditional carpet, kilim, and textile dyeing. Through systematic literature review and field data compilation, a total of 12 plant species belonging to 11 families were documented. Anacardiaceae was the most represented family with two species, while Asteraceae, Berberidaceae, Boraginaceae, Brassicaceae, Fagaceae, Juglandaceae, Lythraceae, Resedaceae, Rubiaceae, and Amaryllidaceae each contributed one species.

The most strategically significant dye plant for the province is *Rhus coriaria* L. (sumac), sourced from Kömürler Neighbourhood in the Nurdağı district. Experimental studies demonstrated that sumac fruits can be used effectively to dye wool carpet yarns at 100% and 50% concentrations with six different mordant combinations (alum at 3–5%, iron sulfate at 3–5%, copper sulfate at 3–5%), yielding light fastness values between 5 and 7. These results are attributed to the high tannin content of sumac, which enables it to function as both a dyestuff and a mordant simultaneously.

In terms of color properties, the identified species produce yellow and yellowish tones (42%), brown and black (25%), red and burgundy (16%), blue and purple (8%), and orange and olive shades (8%). When compared to Turkey's national inventory, Gaziantep demonstrates relative richness in yellow-producing plants, a historically strong but currently limited red dyeing tradition, and considerable potential in the tannin-rich mordanting plants category. The 12 species from 11 families documented herein represent approximately 8–10% of Turkey's national dye flora of 50 families and 123–150 species, suggesting that the province's full dye plant potential remains to be uncovered.

This study constitutes an original scientific contribution to establishing the dye plant potential of Gaziantep Province and provides a data foundation for policies integrating local dyeing heritage with sustainable development. Future research should prioritize comprehensive field surveys, compilation of historical dyeing records, and the establishment of local natural dyeing projects analogous to the DOBAG initiative. The documentation of endangered traditional knowledge among elderly weavers in the region is particularly urgent.

Keywords: dye plants, Gaziantep, ethnobotany, traditional textile dyeing, Southeastern Anatolia

TÜRKİYE'DE GÖÇMEN KUŞLARIN GÖÇ DİNAMİKLERİ, ROTALARI VE EKOLOJİK ÖNEMİ: İÇ ANADOLU SULAK ALANLARI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

Zehra TOZLU

Kırsehir Ahi Evran University, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu

Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Kırşehir, Türkiye

Özet

Türkiye, Afrika–Avrasya göç yolu üzerinde yer alması nedeniyle göçmen kuşlar açısından kritik bir biyocoğrafik köprü işlevi görmektedir. Bu göç sistemi içerisinde İç Anadolu Bölgesi sulak alanları, enerji minimizasyonu prensibi doğrultusunda hareket eden göçmen kuşlar için stratejik konaklama, beslenme ve dinlenme habitatları sunarak önemli ekolojik düğüm noktaları oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'de göçmen kuşların göç dinamikleri, ana göç rotaları, uçuş stratejileri ve ekolojik rolleri incelenmiş; değerlendirmeler İç Anadolu Bölgesi sulak alanları özelinde gerçekleştirilmiştir.

Araştırma kapsamında Ankara, Eskişehir, Kırşehir, Nevşehir, Konya ve Sivas illerinde yürütülen çok mevsimli arazi çalışmaları, literatür verileri ve habitat uygunluk analizleri bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır. Bulgular, bölgedeki sulak alanların yüzlerce kuş türünü destekleyen yüksek biyolojik çeşitliliğe sahip olduğunu ve göç dönemlerinde kritik duraklama alanları olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır. Tespit edilen türler arasında küresel ölçekte tehlike altındaki *Oxyura leucocephala* ile duyarlı kategoride yer alan *Aythya ferina* ve *Streptopelia turtur* gibi türler dikkat çekmektedir. Ayrıca birçok türün bu alanları göç sırasında geçici olarak kullandığı, bazı türlerin ise kışlama ve üreme amacıyla bölgede bulunduğu belirlenmiştir.

Çalışmada, göçmen kuşların uçuş davranışları da değerlendirilmiş; süzülerek göç eden türler ile aktif uçuş gerçekleştiren türler arasındaki stratejik farklılıklar, dar boğaz noktaları ve uçuş yükseklikleri analiz edilmiştir. Bulgular, göç davranışlarının enerji optimizasyonu, meteorolojik koşullar ve habitat sürekliliği gibi çevresel faktörlerle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Ekolojik açıdan değerlendirildiğinde, göçmen kuşların tohum yayılımı, trofik düzenleme ve ekosistem işleyişinin sürdürülebilirliği gibi süreçlerde önemli roller üstlendiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, İç Anadolu sulak alanlarının hidrolojik değişkenliği, kuruma dinamikleri ve artan antropojenik baskılar, tür çeşitliliği ve dağılımı üzerinde belirleyici etkiler oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, İç Anadolu Bölgesi sulak alanları, göçmen kuşların yaşam döngülerinde kritik öneme sahip ekolojik düğüm noktalarıdır. Bu alanların korunmasına yönelik bilim temelli yönetim stratejilerinin geliştirilmesi, uzun dönemli izleme programlarının uygulanması ve habitat bütünlüğünün sürdürülmesi, hem bölgesel biyolojik çeşitliliğin hem de küresel göç ağlarının devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Göç ekolojisi, İç Anadolu sulak alanları, habitat uygunluk modellemesi, kuş göç rotaları

Abstract

Türkiye constitutes a critical biogeographical bridge for migratory birds due to its location along the Afro–Eurasian flyway. Within this system, the wetlands of Central Anatolia represent strategic stopover sites that provide essential habitats for resting, foraging, and energy replenishment, particularly for species operating under energy minimization principles during migration. This study examines the migration dynamics, principal flyways, flight strategies, and ecological roles of migratory birds in Türkiye, with a specific focus on the wetlands of the Central Anatolian region.

The research integrates multi-seasonal field surveys conducted across the provinces of Ankara, Eskişehir, Kırşehir, Nevşehir, Konya, and Sivas, together with comprehensive literature data and habitat suitability analyses. The findings reveal that these wetlands support high levels of biodiversity, hosting hundreds of bird species and functioning as key stopover sites during migration periods. Among the recorded species, globally threatened taxa such as *Oxyura leucocephala*, as well as vulnerable species including *Aythya ferina* and *Streptopelia turtur*, are of particular importance. In addition, while many species use these habitats transiently during migration, others utilize them for wintering or breeding purposes.

The study further evaluates flight behaviors, highlighting differences between soaring migrants and flapping flyers in terms of migration strategies, bottleneck utilization, and flight altitudes. Results indicate that migratory behavior is strongly influenced by environmental factors such as meteorological conditions, habitat continuity, and energy optimization requirements.

From an ecological perspective, migratory birds play significant roles in ecosystem functioning, including seed dispersal, trophic regulation, and the maintenance of ecological balance. However, hydrological variability, drying dynamics, and increasing anthropogenic pressures in Central Anatolian wetlands significantly affect species diversity and distribution patterns.

In conclusion, the wetlands of Central Anatolia serve as critical ecological nodes within global migration systems. The development of science-based conservation strategies, implementation of long-term monitoring programs, and maintenance of habitat integrity are essential for sustaining both regional biodiversity and the continuity of global migratory networks.

Keywords: Migration ecology, Central Anatolian wetlands, habitat suitability modelling, avian flyways

THE EU EMISSIONS TRADING SYSTEM EXPOSURE AND AIRLINE DECARBONISATION STRATEGIES IN TÜRKİYE

Gökçe KÜSMÜŞ[1], Özlem ÇOLAK[2]

[1]Independent Researcher, Aviation Management, Gaziantep, Türkiye,

Orcıd: 0009-0009-1757-6499[1]

[2]Gaziantep University, Aviation Management, Gaziantep, Türkiye,

Orcid: 0000-0003-0813-2561

Abstract

The impact of climate change and related concerns has been increasing globally. Currently, international and industry-specific measures are being developed to control and minimise this impact. Companies and regulators also focus on decarbonisation approaches and on implementing industry-centred emission control frameworks, such as the European Union Emissions Trading System (EU ETS). While airlines are not mandated to follow the ETS framework in Türkiye, there is an indirect influence due to airlines' networks existing within the European Economic Area (EEA). Therefore, this study examined the influence of this system on airlines' decarbonisation efforts in Türkiye.

A qualitative analysis was conducted by reviewing academic literature, company and institutional reports. The activities of two airlines in the local market with diverse business models and flight networks within the EU have been examined. This examination indicates that the system is driving the market to pursue increasingly stringent carbon controls and advance decarbonisation goals. Further, airlines have been developing strategic decisions related to the concept of carbon credits, policy expectations, and increasing carbon control measures. For example, airlines are modernising fleet structures, focusing on energy efficiency, integrating sustainable aviation fuel, and considering policy alignment. To sum up, this study presents that the ETS impacts airlines' behaviour through partial exposure, which is beyond the system's defined function. On the other hand, the system's current impact is limited by financial constraints, regulatory gaps, global integration challenges, feasibility concerns, and uncertainties regarding sustainable efficiency. The overall assessment of the system's influence on the selected local market remains scarce for now, while there is an indirect influence on the market, in addition to external global pressure for airlines to lower emissions.

Keywords: Air transport, airlines, climate change, emissions trading system

YAŞAM FORMU SPEKTRUMU VE FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİN ENTEGRASYONU İLE SULAK ALAN BOZULMASININ DEĞERLENDİRİLMESİ: GAZİANTEP GÖLETLERİ ÖRNEĞİ

INTEGRATING LIFE FORM SPECTRUM AND FUNCTIONAL TRAITS TO ASSESS WETLAND DEGRADATION: EVIDENCE FROM ARTIFICIAL PONDS IN GAZIANTEP

Serap ŞAHİN YİĞİT[1], Fatih YAYLA[2], Muhittin DOĞAN[3]

[1] Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2508-7275

[2]Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-6490-6288

[3] Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-5400-8065

Özet

Sulak alan ekosistemleri, antropojenik baskıların etkisiyle hidrolojik ve biyotik yapılarında önemli değişimler yaşamaktadır. Bu değişimler çoğunlukla tür listeleri üzerinden değerlendirilmekte, ancak ekosistem fonksiyonları ve süksesyonel süreçler çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Bu çalışmada, Gaziantep ilinde yer alan 15 yapay göletten elde edilen 333 bitki taksonuna ait var-yok verileri kullanılarak, sulak alanların ekolojik durumu fonksiyonel ve süksesyonel bir çerçevede analiz edilmiştir.

Süksesyonel durumu nicel olarak değerlendirmek amacıyla Raunkiaer yaşam formu temelli Süksesyonel Değer İndeksi (RLSV) hesaplanmış, göletler arasında 1.98–2.24 aralığında dar bir varyasyon olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, tüm göletlerin erken–orta süksesyonel aşamada benzer bir yapısal durumda "kilitlenmiş" olduğunu göstermektedir. Tür bileşimindeki farklılıkların mekanizmasını ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilen beta çeşitliliği ayrıştırmasında, toplam beta çeşitliliğin ($\beta\_sor = 0.63$) hem tür değişimi (turnover; $\beta\_sim = 0.35$) hem de iç-içelik (nestedness; $\beta\_sne = 0.28$) bileşenlerinden oluştuğu belirlenmiştir. Bu durum, sistemde hem tür değişiminin hem de çevresel filtrelemeye bağlı tür kaybının birlikte etkili olduğunu göstermektedir.

Taksonomik belirginlik analizleri, göletler arasında düşük varyasyon ve dar bir filogenetik dağılım olduğunu ortaya koyarak, tür zenginliğine rağmen taksonomik çeşitliliğin sınırlı olduğunu göstermiştir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, farklı göletlerde gözlenen tür değişiminin fonksiyonel olarak benzer gruplar içerisinde gerçekleştiği ve sistem genelinde bir biyotik homojenleşme eğiliminin bulunduğu anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, Gaziantep'teki yapay sulak alanların, sürekli antropojenik baskı altında kalarak ileri süksesyonel aşamalara geçemediği ve "süksesyonel tıkanma" (successional arrest) durumunda olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, sulak alanların yalnızca tür zenginliği ile değil, fonksiyonel yapı ve süksesyonel dinamikler üzerinden değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymakta ve koruma–restorasyon stratejeleri için bütüncül bir yaklaşım önermektedir.

Anahtar kelimeler: Süksesyonel tıkanma; Biyotik homojenleşme; Fonksiyonel özellikler

Abstract

Wetland ecosystems are increasingly affected by anthropogenic pressures that alter their hydrological and ecological structures. These changes are often assessed based solely on species composition, while ecosystem functions and successional dynamics remain underexplored. In this study, presence–absence data of 333 plant taxa collected from 15 artificial ponds in Gaziantep (Türkiye) were analyzed within a functional and successional framework to evaluate wetland condition.

Successional status was quantified using the Raunkiaer life-form-based Successional Value Index (RLSV), which showed a narrow range across ponds (1.98–2.24), indicating that all systems are constrained within an early–intermediate successional stage. To disentangle the mechanisms underlying compositional variation, beta diversity was partitioned into turnover and nestedness components. Total beta diversity was moderate (β_sor = 0.63), with contributions from both species turnover (β_sim = 0.35) and nestedness (β_sne = 0.28), suggesting the simultaneous influence of species replacement and environmental filtering.

Taxonomic distinctness analyses revealed low variation among ponds and a restricted phylogenetic structure, indicating limited taxonomic breadth despite relatively high species richness. Taken together, these results demonstrate that compositional differences among ponds occur within a narrow functional space, pointing to a pattern of functional and taxonomic homogenization.

Overall, the findings indicate that artificial wetlands in Gaziantep are unable to progress toward advanced successional stages due to persistent anthropogenic disturbance, resulting in a system-wide condition of successional arrest. This study highlights the importance of integrating functional traits and successional metrics, beyond species richness alone, for accurate assessment and management of wetland ecosystems

Keywords: Successional arrest; Biotic homogenization; Functional traits

YAPAY KONUKÇU OLARAK ÇİN MEŞE VE ERİ İPEKBÖCEĞİ YUMURTALARINDA *TRİCHOGRAMMA* TÜRLERİNİN GELİŞİM FARKLILIKLARI ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR DEĞERLENDİRME

Leyla KILCI

Rize Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği Fen Lisesi, Biyoloji, Rize, Türkiye,

Orcid: 0009-0009-9160-4662

Özet

İpek böceği türleri dünyada stratejik öneme sahip türlerdir. Yaygın olarak dut ipekböceği olarak bilinen *Bombyx mori*'den elde edilen ipeğin yanı sıra Eri, Çin meşe ve Muga gibi ipekböceği çeşitleri de birçok alanda kullanılmaktadır. İpekböceği türleri, içerdikleri fibroin ve serisin proteinlerinin sağladığı biyoçözünürlük ve biyouyumluluk gibi üstün nitelikler sayesinde tekstilden tıbba kadar geniş bir stratejik kullanım alanına sahiptir. Bu ticari değerlerinin yanı sıra, ipekböcekleri tarımsal zararlılarla biyolojik mücadelede kullanılan parazitoitler için "yapay konukçu" olarak kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, dünya genelinde Lepidoptera zararlılarına karşı yaygın olarak kullanılan yumurta parazitoiti *Trichogramma chilonis* ve *Trichogramma dendrolimi*'nin iki farklı yapay konukçu olan Eri ipekböceği (*Samia ricini*-ES) ve Çin meşe ipekböceği (*Antheraea pernyi*-COS) yumurtalarındaki parazitlenme kapasitesini ve biyolojik gelişimini karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Çalışmada, ES ve COS yumurtalarının büyük boyut avantajları kullanılarak, yumurta başına üretilen arıcık sayısı, parazitlenme oranları ve ergin çıkış başarısı gibi parametreleri analiz edilmiştir. *T. dendrolimi* için; doğal olarak bırakılmış, döllenmiş ve yıkanmamış yumurtalar (NFUW) ile doğal olarak bırakılmış, döllenmemiş ve yıkanmamış yumurtaları (NUUW) parazitlenme başarısı açısından değerlendirilmesi ile yaklaşık değerler ES-NFUW:%63,3, ES-NUUW:%88, COS-NFUW:%30 ve COS-NUUW:%38 olarak kaydedilmiştir. Ayrıca hiçbir müdehale edilmemiş COS ve ES yumurtalarında *T. chilonis'*e ait parazitlenme ve ergin çıkış başarısının *T. dendrolimi*'ye göre düşük oranlara sahip olmasının yanında *T. chilonis* ES yumurtalarında (%89,3), COS yumurtalarına kıyasla (%74,7) daha yüksek parazitlenme oranlarına sahip olduğu çalışmalarda belirtilmiştir. Bunun nedeni COS yumurtalarının kalın ve sert koryon (yumurta kabuğu) yapısı, birçok *Trichogramma* türünün kabuğu delip çıkmasını zorlaştırmakta ve bu da çıkış oranlarını düşürmektedir. Bu durum ES yumurtalarının, *Trichogramma* türlerinin parazitoitlerin kitle üretimi için COS yumurtalarına göre daha verimli yapay konukçu olduğunu ortaya koymaktadır. Biyolojik parametreler açısından, ES yumurtalarında yetiştirilen parazitoitlerin daha uzun ömürlü olduğu, daha yüksek yumurta bırakma (fecundity) kapasitesine sahip olduğu ve arama yeteneklerinin daha güçlü olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Trichogramma chilonis*, *Trichogramma dendrolimi,*

Biyolojik Mücadele, Eri İpekböceği, Çin Meşe İpekböceği, Yapay Konukçu, Parazitizm.

KENTLERDE YEŞİL VE DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜN ETKİLEŞİMİ: EKOLOJİK-TEKNOLOJİK KENTLER

THE INTERACTION OF GREEN AND DIGITAL TRANSFORMATION IN CITIES: ECO-TECHNOLOGICAL CITIES

Fatma NALBANT[1], Hatice AY[2]

[1]Artvin Çoruh Üniversitesi, Yusufeli Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Yerel Yönetimler Programı, Artvin, Türkiye, Orcid: 0000-0003-2588-1804

[2] Bartın Üniversitesi, Ulus Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Tapu ve Kadastro Programı, Bartın, Türkiye, Orcid: 0000-0003-3173-4931

Özet

Günümüzde kentleşme süreçleri ve iklim değişikliğinin etkileri kentleri, çevresel sürdürülebilirlik ve dijitalleşme ekseninde yeniden yapılandırmaya zorlamaktadır. Bu bağlamda akıllı kentler ve sürdürülebilir kentler, kentsel yaşam kalitesini artırmayı hedefleyen iki temel yaklaşım olarak öne çıkmakta ve giderek artan bir etkileşim içerisinde gelişmektedir. Bu etkileşim, "ekolojik-teknolojik kentler" olarak kavramsallaştırılan yeni bir yaklaşımın ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Ancak söz konusu kavram, henüz standartlaşmış bir kent modeli olmaktan ziyade, akıllı ve sürdürülebilir kent uygulamalarının kesişiminde şekillenen dinamik bir çerçeve niteliğindedir. Bu çalışmanın amacı, kentlerde yeşil ve dijital dönüşümün etkileşimini incelemek, bu etkileşimden doğan ekolojik-teknolojik kent yaklaşımını kavramsal olarak açıklamak ve modelin temel bileşenlerini teorik ve uygulamalı düzlemde değerlendirmektir. Çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden literatür incelemesi kullanılmış, akıllı ve sürdürülebilir kent yaklaşımlarının temel özellikleri ile etkileşim alanları ele alınmıştır. Ardından, Barcelona ve Singapur kentleri örnek olay olarak ele alınarak dijitalleşme ile çevresel sürdürülebilirliğin kentsel yönetim süreçlerine nasıl entegre edildiği incelenmiştir. Bu kapsamda söz konusu kentler, doğrudan "ekolojik-teknolojik kent" olarak sınıflandırılmaktan ziyade, bu yaklaşımın farklı bileşenlerini yansıtan ve modelin pratikteki görünümlerini ortaya koyan örnekler olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda incelenen kent uygulamalarından Barcelona, Süperbloklar (Superblocks) uygulaması ile motorlu araç trafiğini sınırlandırarak yaya ve bisiklet kullanımını teşvik etmekte ve karbon salımını azaltmayı hedeflemektedir. 22@ kentsel dönüşüm bölgesi, akıllı aydınlatma sistemleri ve mobil veri tabanlı ulaşım uygulamaları ile dijital teknolojileri kentsel planlamaya entegre etmektedir. Ayrıca sensör tabanlı sistemler ve akıllı atık yönetimi uygulamaları ile şehir yönetimi veri temelli hâle getirilmektedir. Singapur ise gelişmiş sensör ağları ve yapay zekâ destekli trafik yönetim sistemleri ile ulaşım yoğunluğunu optimize ederek emisyonları azaltmakta, akıllı su yönetim sistemleri ile kaynak kullanımını verimli hâle getirmekte ve Akıllı Ulus (Smart Nation) girişimi kapsamında veri temelli karar alma süreçlerini güçlendirmektedir. Ayrıca dikey yeşil mimari ve kentsel yeşillendirme politikaları ile karbon tutulumunu artırarak kentsel ısı adası etkisini azaltmaktadır. Sonuç olarak çalışma, ekolojik-teknolojik kent yaklaşımının, yeşil ve dijital dönüşümün kesişiminde şekillenen bütüncül bir kentsel model olarak değerlendirilebileceğini Barcelona ve Singapur örnekleri üzerinden ortaya koymakta ve bu modelin diğer kentler için uygulanabilirliğine dikkat çekmektedir.

Yeşil ve dijital dönüşümün etkileşimi, geleceğin kentlerinin daha dirençli, sürdürülebilir ve yaşanabilir hâle gelmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

Anahtar kelimeler: Akıllı kentler, ekolojik-teknolojik kent yaklaşımı, kentsel dijitalleşme, sürdürülebilir kentleşme, yeşil ve dijital dönüşüm.

Abstract

Today, urbanization processes and the effects of climate change are forcing cities to restructure themselves around environmental sustainability and digitalization. In this context, smart cities and sustainable cities emerge as two fundamental approaches aimed at enhancing urban quality of life, increasingly evolving through mutual interaction. This interaction gives rise to a new conceptual approach referred to as "eco-technological cities." However, this concept should not be considered a standardized urban model; rather, it represents a dynamic framework shaped at the intersection of smart and sustainable urban practices. The aim of this study is to examine the interaction between green and digital transformation in urban contexts, to conceptually explain the eco-technological city approach emerging from this interaction, and to evaluate its core components within both theoretical and practical frameworks. The study adopts a qualitative research design based on a literature review; the fundamental characteristics of smart and sustainable urban approaches and their points of intersection are analyzed. Subsequently, Barcelona and Singapore are examined as case studies to explore how digitalization and environmental sustainability are integrated into urban governance processes. In this regard, these cities are not classified directly as "eco-technological cities," but rather are considered as illustrative cases reflecting different components of this approach and demonstrating its practical manifestations. Findings indicate that Barcelona promotes sustainable mobility and reduces carbon emissions through the Superblocks model, which restricts motorized traffic and prioritizes pedestrian and cycling infrastructure. Additionally, the 22@ urban transformation district, smart lighting systems, and mobile data-based transport applications demonstrate the integration of digital technologies into urban planning. Sensor-based systems and smart waste management applications further enable data-driven urban governance. In the case of Singapore, advanced sensor networks and AI-supported traffic management systems optimize traffic flow and reduce emissions, while smart water management enhances resource efficiency. Under the Smart Nation initiative, data-driven decision-making processes are strengthened. Moreover, vertical greenery and urban greening policies contribute to carbon sequestration and mitigate the urban heat island effect. In conclusion, the study demonstrates that the eco-technological city approach can be conceptualized as a holistic urban model emerging from the intersection of green and digital transformations, as evidenced by the cases of Barcelona and Singapore. This approach offers a transferable framework for enhancing urban resilience, sustainability, and livability across diverse urban contexts.

Keywords: Smart cities, eco-technological city approach, urban digitalization, sustainable urbanization, green and digital transformation.

İNSAN EKOLOJİSİ: KURAMSAL YAKLAŞIMLAR VE GÜNCEL PERSPEKTİFLER

Sədaqət Musayeva

Azerbaycan Diller Üniversitesi, Bakü, Azerbaycan

Orcid: 0009-0001-1940-2355

ÖZET

Bu çalışma, "insan ekolojisi" kavramını kuramsal temelleri, tarihsel evrimi ve günümüzün keskin ekolojik tehditleri bağlamında kapsamlı bir şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, öncelikle otoekoloji ve insan ekolojisi kavramları, antropojen faktörün ekosistemlerde yarattığı değişimler ve adaptasyon mekanizmaları ele alınmıştır. Daha sonra, insan-doğa ilişkisinin tarihsel evrimi, Homo sapiens'ten modern insana uzanan süreçte çevre üzerindeki artan insan etkisi incelenmiştir. Vladimir Vernadski'nin noosfer kavramı çerçevesinde, biyosferden noosfere geçiş süreci, bu sürecin günümüzdeki önemi ve noosferogenezin tamamlanmamış doğası tartışılmıştır.

Çalışmanın ana eksenlerinden birini, insan sağlığının ekolojik sistemin bütünleştirici bir göstergesi olarak ele alınması oluşturur. Bu bağlamda, birey ve toplum düzeyinde sağlık kavramı ile sağlığın üç temel işlevi (emek, eğitim-öğretim, demografi) detaylandırılmıştır. Son olarak, günümüzün en önemli ekolojik tehditleri – jeopolitik çatışmalar, ekonomik tüketim modeli, hızlı şehirleşme, teknogenik felaketler, iklim değişikliği, biyoçeşitlilik kaybı ve mikroplastik gibi yeni kirleticiler – ve bu tehditlerin insan sağlığına doğrudan ve dolaylı etkileri analiz edilmiştir. Çalışma, ekolojik krizin aşılması için toplumun etik-kültürel ve entelektüel düzeyde yeniden örgütlenmesi gerektiğini vurgulayarak, sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde ekolojik eğitimin ve bilinçlenmenin önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: İnsan Ekolojisi, Noosfer, İklim Değişikliği, Şehirleşme, Sürdürülebilir Kalkınma.

GİRİŞ

İnsan, var olduğu günden beri içinde bulunduğu çevrenin — hem ekolojik hem de sosyal çevrenin — sürekli etkisi altında olmuştur. Aynı zamanda insan, varlığını sürdürebilmek için bu çevreyle sürekli etkileşim halinde yaşamıştır. İnsan ile doğa arasındaki bağın genişlemesi, doğanın giderek daha çok yönlü ve yoğun bir şekilde sömürülmesi, bu faaliyetlerin doğaya verdiği zararın açıkça görünür hale gelmesi, dünya kamuoyunun dikkatini bu soruna yöneltmiştir. Bu nedenle insan ve ekoloji arasındaki ilişkilerin derinlemesine incelenmesi bir zorunluluk haline gelmiştir.

Bu makalede, insan ekolojisi kavramının kuramsal temelleri, tarihsel evrimi, noosfer kavramı çerçevesinde Vernadski'nin mirası, insan sağlığının ekolojik sistemdeki yeri ve günümüzün keskin ekolojik tehditleri analiz edilmektedir.

1. İNSAN EKOLOJİSİNİN KURAMSAL TEMELLERİ

1.1. Otoekoloji ve İnsan Ekolojisi Kavramları

İnsan ekolojisi kavramının gelişiminde yeni bir aşama, otoekoloji biliminin ortaya çıkmasıyla başlamıştır. Otoekoloji, canlı organizmaların çevreleriyle bireysel düzeydeki etkileşimini inceleyen bilim dalıdır. İnsan ekolojisi kavramı bu bilimin araştırma konusuna tam olarak girmese de, otoekoloji çerçevesinde yapılan çalışmalar, ekolojik etmenlerin insan organizması üzerindeki etkilerinin incelenmesine olanak sağlamıştır.

1.2. Antropojen Faktör ve Adaptasyon Mekanizmaları

İnsanın çevre üzerinde güçlü bir etki yaratmaya başlaması, ekosistemlerde antropojen faktörün güçlenmesine neden olmuştur. Antropekosistemde oluşan ilişkiler bütünü, adaptasyon kavramını da içermektedir. Adaptasyon, bu bağlamda zaman ve mekan içinde sistemin kendi gelişim süreci olarak karakterize edilir. Burada iki yönlü bir süreç söz konusudur: insanın ekolojiye adaptasyonu ve ekosistemin insan faaliyetlerine adaptasyonu.

2. İNSAN-EKOLOJİ İLİŞKİLERİNİN EVRİMİ

2.1. Homo Sapiens'in Ekolojik Durumu

Homo sapiens döneminde insan, çevreden tamamen bağımlı bir durumda yaşamış, doğal güçler karşısında çaresiz kalmıştır. Bu aşamada insan, biyosferin bir parçası olarak doğal denge üzerinde ciddi bir etki yaratamamıştır.

2.2. Modern İnsanın Çevre Üzerindeki Etkisi

Modern insanın psikofizyolojik kapasitesi, homo sapiens'in kapasitesiyle karşılaştırıldığında çok daha üstündür. Şehirleşme, doğal kaynaklara bağlı ekonomi farklılaşması ve göç süreçleri hem ekolojik sistemde hem de insan organizmasında derin değişimlere yol açmaktadır. Vernadski'nin vurguladığı gibi, bilimsel-teknik devrim biyosferde büyük değişimlere neden olmakta ve insan çevrenin egemen gücü haline gelmektedir.

3. VERNADSKİ VE NOOSFER KAVRAMI

3.1. Biyosferden Noosfere Geçiş

Vladimir Vernadski, "insan ekolojisi" kavramını bilim dünyasına kazandıranlardan biridir. Vernadski, araştırmaları sonucunda şu sonuca varmıştır: İnsan ile ekoloji arasındaki karşılıklı etkileşim sonucunda yalnızca ekoloji insanı etkilemez; aynı zamanda insan faaliyetleri sonucunda ekolojik sistem de büyük değişimlere uğrar.

3.2. Noosfer Kavramının Güncel Önemi

Noosfer, uzayın gezegensel alanında yaratılmış, insan aklı tarafından geliştirilen alt sistemdir. Noosferin derinlemesine incelenmesi, doğal güçlerin insan sağlığının iyileştirilmesi doğrultusunda kullanılmasına yol açar. Ancak noosferogenez henüz tam olarak şekillenmemiştir; bazı sosyo-ekonomik sistemler ekolojiyi yok olma tehlikesiyle karşı karşıya bırakmaktadır.

4. İNSAN SAĞLIĞI VE EKOLOJİK SİSTEMİN İŞLEVLERİ

4.1. Birey ve Toplum Düzeyinde Sağlık

İnsan sağlığı, ekolojik sistemin en kalıcı bütünleştirici göstergesidir. Bireysel düzeyde psikofizyolojik işlevlerin korunması, toplumsal düzeyde ise nüfusun sosyo-psikolojik kapasitelerinin gelişimi esas alınır.

4.2. Sağlığın üç temel işlevi

- **Birinci işlev:** Sosyo-ekonomik ilişkiler sürecinde kullanılan iş faaliyeti.
- **İkinci işlev:** Toplumun eğitimi ve öğretimi; genofond kavramının korunması.
- **Üçüncü işlev:** Nüfus artışı, aile kurumu ve demografik göstergeler.

5. GÜNÜMÜZÜN EKOLOJİK TEHDİTLERİ

5.1. Ekolojik Değişimlere Neden Olan Etmenler

Jeopolitik çatışmalar, sürdürülemez ekonomik tüketim modelleri, hızlı şehirleşme (2050'ye kadar dünya nüfusunun %68'i şehirlerde olacaktır) ve teknogenik felaketler günümüzün temel etmenleridir.

5.2. Keskin Ekolojik Değişimler ve Sağlık Etkisi

IPCC verilerine göre küresel sıcaklık 1,1°C yükselmiştir. Biyoçeşitliliğin azalması, hava kirliliği (PM2.5) ve mikroplastik kirliliği fiziksel ve ruhsal (eko-anksiyete) sağlık risklerini artırmaktadır.

SONUÇ

İnsan ekolojisi kavramı, insanın doğayı sömüren bir güçten, onunla uyum içinde olan bir aktöre dönüşme sürecini kapsar. Vernadski'nin noosfer kavramı güncelliğini korusa da, noosferogenez süreci tamamlanmamıştır. Sağlığın korunması ancak ekolojik dengenin restorasyonu, sürdürülebilir kalkınma ilkeleri (SDG 2030) ve yeşil ekonomiye geçişle mümkündür.

KAYNAKÇA

1. Vernadsky, V. I. (1989). Biyosfer ve Noosfer. Moskova: Nauka.
2. IPCC (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Cenevre.
3. WHO (2022). Ambient (outdoor) air pollution. Cenevre.
4. BM (2015). Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SDG 2030). New York.
5. UNEP (2021). Making Peace with Nature. Nairobi.
6. Ağayev, E. Q., Mammadov, G. Ş. (2015). İnsan ve çevre. Bakü: Elm.

SÜRDÜRÜLEBİLİR TASARIM KRİTERLERİ BAĞLAMINDA YEŞİL MİMARİ: ENERJİ ETKİN YAPI ÜRETİM YAKLAŞIMLARININ MİMARİ ÖLÇEKTE DERLENMESİ

Çiğdem TOPLAR KORKMAZ[1], Ebru Bozlar[2], Banu GÖKÇEK[3]

[1]Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Gaziantep, Türkiye, Orcıd: 0009-0008-0850-6571

[2]Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Gaziantep, Türkiye, Orcıd: 0000-0001-9414-2760

[3]Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Gaziantep, Türkiye, Orcıd: 0000-0002-5097-0078

Özet

Günümüzde artan enerji tüketimi ve çevresel sorunlar, mimarlık disiplininde sürdürülebilir tasarım yaklaşımlarının önemini giderek artırmaktadır. Yeşil mimari, bu bağlamda yapıların tasarım, yapım ve kullanım süreçlerinde çevresel etkileri minimize etmeyi hedefleyen bütüncül bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, yeşil mimarinin mimari tasarım kriterleri üzerinden ele alındığı ve enerji etkin yapı üretim yaklaşımlarının incelendiği bir derleme niteliğindedir.

Literatürde yeşil mimari; pasif tasarım stratejileri, enerji verimliliği, malzeme seçimi ve yapı kabuğu performansı gibi temel bileşenler üzerinden değerlendirilmektedir. Özellikle bina yönlenmesi, doğal aydınlatma, doğal havalandırma ve ısı yalıtımı gibi pasif sistemler, enerji tüketimini azaltmada kritik rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, yüksek performanslı cephe sistemleri ve yenilenebilir enerji entegrasyonu, çağdaş mimari tasarımın önemli unsurları arasında yer almaktadır.

Mimari ölçekte ele alındığında, yeşil tasarım kararlarının yalnızca teknik performansla sınırlı kalmadığı; aynı zamanda mekânsal kurgu, kullanıcı konforu ve estetik değerler ile bütünleştiği görülmektedir. Bu noktada biyolojik veriler, özellikle iklimsel adaptasyon ve malzeme davranışı açısından tasarım sürecine veri sağlayan destekleyici bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Ancak belirleyici olan, mimari tasarımın bu verileri yorumlama ve mekâna dönüştürme kapasitesidir.

Çalışmada, farklı ölçeklerde uygulanmış örnek projeler üzerinden enerji etkin tasarım yaklaşımları karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve mimari kararların yapı performansı üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Sonuç olarak, yeşil mimarinin yalnızca çevresel bir yaklaşım değil, aynı zamanda mimari tasarım kalitesini artıran bir araç olduğu vurgulanmaktadır. Bu derleme, sürdürülebilir mimarlık pratiğinde tasarım odaklı düşünmenin önemine dikkat çekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yeşil mimari, Sürdürülebilir tasarım, Enerji verimliliği, Pasif tasarım stratejileri, Yapı performansı

EKOLOJİK SANAT TEMELLİ DENEYİMLERİN MİMARLIK ÖĞRENCİLERİNDE EKOLOJİK DÜŞÜNCEYE ETKİSİ: BİYOMİMİKRİ ODAKLI BİR YAKLAŞIM

Sibel ÇUKADAR[1], Çiğdem TOPLAR KORKMAZ[2], Ayşegül ERDOĞAN[3], Ebru BOZLAR[4], Şeyda YILMAZ[5]

1Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Gaziantep, Türkiye, Orcıd: 0009-0006-4625-2846

2Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Gaziantep, Türkiye, Orcıd: 0009-0008-0850-6571

3Gaziantep Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Şehitkâmil, Gaziantep; Orcıd: 0000-0001-8192-4675

4Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kent Estetiği ve Yeşil Alanlar Daire Başkanlığı, Gaziantep, Türkiye, Orcıd: 0000-0001-9414-2760

5Gaziantep Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye, Orcıd: 0000-0001-9414-2760

ÖZET

Bu çalışmada, Gaziantep Üniversitesi Mimarlık Fakültesi birinci sınıf öğrencileri ile Toplumsal Duyarlılık Projeleri dersi kapsamında gerçekleştirilen ekolojik sanat temelli bir öğrenme deneyiminin, öğrencilerin ekolojik düşünme biçimleri üzerindeki olası etkileri biyomimikri odaklı bir çerçevede ele alınmıştır. Gaziantep Üniversitesi Toplumsal Duyarlılık Projeleri dersi, birinci sınıf öğrencilerine toplumsal sorunlara yönelik farkındalık geliştirme, çözüm üretme ve sosyal sorumluluk temelli uygulamalara katılma becerisi kazandırmayı amaçlayan zorunlu bir ders niteliği taşımaktadır. Bu bağlamda düzenlenen etkinlik, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Botanik Bahçesi içerisinde yer alan ekolojik derslik, ekolojik bina ve Gaziantep Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı park alanlarında yürütülmüştür.

Etkinlik kapsamında öğrencilere "biyolojik mimikri" alanında bir sunum yapılmış; sunumda doğadaki biçimsel, yapısal ve işlevsel örüntülerin tasarım süreçlerine nasıl aktarılabileceği üzerinde durulmuştur. Biyomimikrinin mimari tasarım eğitiminde öğrencilerin yaratıcı bakış açısını geliştirdiği, doğa ile tasarım arasındaki ilişkiyi güçlendirdiği ve özgün form üretimine katkı sağladığı literatürde vurgulanmaktadır. Sunum sonrasında öğrencilerden, sıfır atık yaklaşımı çerçevesinde parklarda kullanılmak üzere çevresel farkındalık odaklı poster tasarımları üretmeleri istenmiştir. Bu uygulama ile öğrencilerin yalnızca kuramsal bilgi edinmeleri değil, aynı zamanda çevre sorunlarını kamusal iletişim diliyle görünür kılmaları, görsel anlatım yoluyla çözüm önerisi geliştirmeleri ve toplumsal sorumluluk perspektifi kazanmaları hedeflenmiştir. Hazırlanan posterlerin belediye bünyesinde değerlendirilmiş olması, çalışmanın akademik bir etkinliğin ötesine geçerek yerel yönetim ile üniversite iş birliği çerçevesinde toplumsal karşılık üreten bir uygulama niteliği taşıdığını göstermektedir.

Sonuç olarak, ekolojik derslikte gerçekleştirilen biyomimikri sunumu ile sıfır atık temalı poster üretim sürecinin birlikte değerlendirilmesi, mimarlık öğrencilerinde ekolojik farkındalık, doğa temelli düşünme, yaratıcı problem çözme ve toplumsal sorumluluk bilincinin gelişimine katkı sağlayabilecek bütünleşik bir eğitim modeli ortaya koymaktadır.

Bu yönüyle çalışma, mimarlık eğitiminde ekolojik sanat, biyomimikri ve kamusal tasarım üretiminin birlikte kullanılabileceğini göstermekte; sürdürülebilirlik odaklı öğretim yaklaşımları için uygulanabilir bir örnek sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik sanat, biyomimikri, mimarlık eğitimi, ekolojik düşünce, sıfır atık, poster tasarımı, toplumsal duyarlılık

KIRSALDA ATIK İLAÇ BİLİNCİ OLUŞTURMA VE KAYNAĞINDA TOPLAMA

Aslı Elif KULOĞLU[1], Ersin AKGÖLLÜ[1], Dilan KUŞÇİ[2], Nesih ARSLAN[2], Gülbahar AKKURT[2], Emrullah ERTEN[2]

[1]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Patnos Meslek Yüksekokulu Eczacılık Bölümü, Organik Kimya/İlaç Ar-Ge, Ağrı, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2762-4716

[1]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Patnos Meslek Yüksekokulu Eczacılık Bölümü, Tıbbi ve Biyomoleküler Kimya, Ağrı, Türkiye, Orcid: 0000-0003-3636-401X

[2]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Patnos Meslek Yüksekokulu Eczacılık Bölümü, Eczane Hizmetleri, Ağrı, Türkiye, Orcid: 0009-0005-3336-9036

[2]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Patnos Meslek Yüksekokulu Eczacılık Bölümü, Eczane Hizmetleri, Ağrı, Türkiye, Orcid: 0009-0007-4809-9010

[2]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Patnos Meslek Yüksekokulu Eczacılık Bölümü, Eczane Hizmetleri, Ağrı, Türkiye, Orcid: 0009-0000-0539-8335

[2]Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Patnos Meslek Yüksekokulu Eczacılık Bölümü, Eczane Hizmetleri, Ağrı, Türkiye, Orcid: 0009-0009-9234-943X

Özet

Farmasötik atıklar, biyolojik olarak aktif yapıları ve çevrede kalıcılıkları nedeniyle su, toprak ve hava ekosistemlerinde önemli riskler oluşturan mikrokirleticiler arasında yer almaktadır. Bu çalışma, Patnos ilçesine bağlı merkez köylerde yaşayan hane halkının ilaçlar ve atık ilaçlar konusundaki bilgi düzeyinin incelenmesi, ilaç saklama koşullarının belirlenmesi ve atık ilaçların güvenli bertaraf süreçlerine yönlendirilmesini amaçlamaktadır. Araştırma, Mollaibrahim, Ziyaret ve Eskikonak köylerinde 121 gönüllü hane ile yürütülmüş olup, evsel ilaç atıkları ve çevre bilinci arasındaki ilişkiye odaklanan nitel ve nicel yöntemlerin birlikte kullanıldığı saha temelli bir tasarıma sahiptir. İlk aşamada yüz yüze görüşmeler ve gözlemlerle elde edilen veriler, ikinci aşamada yapılandırılmış anket formuna dönüştürülerek analiz edilmiştir.

Bulgular, başlangıçta katılımcıların evsel atık ilaçlar konusunda düşük farkındalığa sahip olduğunu göstermiştir. Atık ilaçların doğrudan yüzey sularına (Akarsu-Dere) bırakılması, evsel atıklarla birlikte toprağa karıştırılması ve kontrolsüz yakılması (soba, tandır, kalorifer kazanı vb.) gibi yanlış bertaraf yöntemleri tespit edilmiştir. Bu durum, farmasötik kirleticilerin su, toprak ve hava ekosistemlerinde birikerek önemli risk oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Süreç boyunca gerçekleştirilen bilgilendirme ve farkındalık çalışmaları sonucunda katılımcıların çevre bilinci ve atık ilaçları bertaraf etme davranışlarında belirgin iyileşme gözlemlenmiş; hanelerden toplanan atık ve artık ilaçlar uygun sistemlere yönlendirilmiştir.

Sonuç olarak, kırsal alanlarda gerçekleştirilen eğitim ve farkındalık çalışmalarının evsel ilaç atıklarının yönetimi ve çevre bilincinin geliştirilmesinde etkili olduğu belirlense de, altyapı yetersizlikleri, mevzuat eksiklikleri ve kurumsal koordinasyon sorunları farmasötik kirleticilerin güvenli bertarafında çok boyutlu bir politika sorununu temsil etmektedir. Bu nedenle, sürdürülebilir çözümler için eczane temelli geri toplama sistemleri, bütüncül yasal

düzenlemeler, teknik altyapı yatırımları ve toplum temelli eğitim programlarının entegre bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Atık-Artık İlaç, Farmasötik Kirleticiler, Atık Yönetimi, Ekoloji Farkındalığı.

"Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu "TÜBİTAK tarafından [Proje No:1919B012422162 / 2209-A] kapsamında desteklenmiştir."

HOW DOES SEASONAL CHANGE AFFECT THE ECOPHYSIOLOGY OF FOUR MEDITERRANEAN TREE SPECIES?

Yusuf Siraç DURAK[1], Esra BAYAR[2]

[1]Forest Engineering, Orcid: 0009-0003-8667-0194

[2]Forest Engineering, Orcid: 0000-0003-1137-297X

Abstract

This study aims to determine the seasonal variations in the physiological and biochemical responses of *Platanus orientalis* L., *Quercus cerris* L., *Liquidambar orientalis* Mill., and *Pinus brutia* Ten. growing under the same environmental conditions. For this purpose, the seasonal responses of these four tree species were analyzed in August and October. Within the scope of the research, midday water potential, soil water content, soil temperature, total soluble sugar, and photosynthetic pigment contents were periodically measured. The results showed that the high soil temperature recorded in August decreased in October, while soil water content increased during the same period. Regarding midday water potential, the lowest values in August were observed in *Pinus brutia* and *Quercus cerris*, whereas the highest water potential was recorded in *Liquidambar orientalis* trees. Total soluble sugar content in August was lowest in *Pinus brutia*. Overall, total soluble sugar levels in all species showed an increasing trend from August to October. Furthermore, photosynthetic pigment contents (Chl a, Chl b, total chlorophyll, and carotenoids) were found to be highest in *Quercus cerris* and lowest in *Pinus brutia* during both months.

Keywords: Water potential, soluble sugar, chlorophyll, woody species

NEMRUT KALDERASI (BİTLİS) RAMSAR ALANININ KUŞ GÖZLEMCİLİĞİ VE EKOTURİZM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF NEMRUT CALDERA (BITLIS) RAMSAR AREA IN TERMS OF BIRD WATCHING AND ECOTOURISM

Hümeyra NERGİZ UYAR[1], Atilla DURMUŞ[2]

[1]Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Ekoloji, Bitlis, Türkiye, Orcıd: 0000-0001-5588-6134

[2]Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ekoloji, Van, Türkiye, Orcıd: 0000-0002-5116-9581

Özet

Doğu Anadolu Bölgesi'nin en önemli doğal alanlarından biri olan Nemrut Kalderası, Van Gölü'nün batı kıyısında, Bitlis ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu alan, sahip olduğu jeolojik formasyonu, mikroklimatik özellikleri, doğal manzarası, zengin flora ve faunası ile birlikte ekoturizm ve özellikle de kuş gözlemciliği açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Nemrut Kalderası Tarım Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar tarafından 2013 yılında Türkiye'nin 14. Ramsar alanı olarak tescil edilmiştir. Ramsar Alanı olarak tescillenmesiyle birlikte alanın ulusal ve uluslararası düzeyde tanınırlığı artmıştır. Ramsar Alanları'nda yapılan araştırmalar, bu tür alanlarda doğa koruma ile turizmin dengeli bir şekilde yürütülmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Bölgedeki kuş çeşitliliğinin korunması ve sürdürülebilir kullanımı için Ramsar Sözleşmesi'nin ilkeleri büyük önem taşımaktadır.

Nemrut Kalderası içinde farklı büyüklüklerde ve farklı fiziksel özelliklere sahip 5 sulak alan bulunmaktadır. Bunlardan 3 tanesi geçici olup dönemsel olarak kuruyabilmektedir. Alan içinde bulunan iki göl, kalderanın önemli bir kısmını kaplamakta ve bunlardan biri sıcak diğeri soğuk su karakterindeki göllerdir. Daimi göller etrafından bulunan vejetasyon yapısı ve kayalık habitatlar kuşlar için önemli yaşam alanı teşkil etmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Nemrut Kalderası ve çevresindeki kuş çeşitliliği ile alanın kuş gözlemciliği ve ekoturizm açısından önemi ortaya konmuştur. Ramsar alanı olduktan sonra gerçekleştirilen koruma çalışmalarının alandaki kuş türleri ve habitat yapısına etkileri ve sürdürülebilirliği değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kuşlar, ornitofauna, biyoçeşitlilik, sulak alan, korunan alan

Abstract:

Nemrut Caldera, one of the most important natural areas in the Eastern Anatolia Region, is located on the western shore of Lake Van, within the borders of Bitlis province. This area, with its unique geological formation, microclimatic characteristics, natural scenery, and rich flora and fauna, holds great potential in terms of ecotourism and especially birdwatching. In 2013, the Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Nature Conservation and National Parks, designated Nemrut Caldera as Turkey's 14th Ramsar site. With its registration as a Ramsar Site, the area's national and international recognition has increased. Research conducted in Ramsar Sites shows that it is possible to carry out nature conservation and tourism in a balanced way in such areas. The principles of the Ramsar Convention are of great importance for the conservation and sustainable use of bird diversity in the region.

There are five wetlands of different sizes and physical characteristics within Nemrut Caldera. Three of these are temporary and can dry up periodically. The two lakes within the area cover a significant portion of the caldera, and one has warm water while the other is characterized by cold water. The vegetation structure and rocky habitats around the permanent lakes constitute important living spaces for birds.

Within the scope of this study, the bird diversity in and around Nemrut Caldera and the area's significance in terms of birdwatching and ecotourism have been revealed. The impacts and sustainability of conservation efforts carried out after its designation as a Ramsar site on the bird species and habitat structure in the area have been evaluated.

Keywords: Birds, Ornithofauna, biodiversity, wetland, protected area.

KARAYOLUNUN KUŞ TÜRLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN AHLAT SAZLIĞI (BİTLİS) ÖRNEĞİNDE İRDELENMESİ

EXAMINING THE IMPACT OF THE HIGHWAY ON BIRD SPECIES: THE CASE OF AHLAT REEDBED (BİTLİS)

Atilla DURMUŞ[1], Hümeyra NERGİZ UYAR[2]

[1]Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ekoloji, Van, Türkiye

Orcıd: 0000-0002-5116-9581

[2]Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Ekoloji, Bitlis, Türkiye, Orcıd: 0000-0001-5588-6134

Özet

Küresel ölçekte karayolu ağlarının hızla genişlemesi doğal yaşam alanlarının parçalanmasına ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olan başlıca insan kaynaklı faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Özellikle kuşlar, karayollarının neden olduğu habitat kaybı, parçalanma, trafik kaynaklı gürültü, ışık kirliliği ve doğrudan ölümler gibi çok boyutlu etkilerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu durum, hem türlerin popülasyon dinamiklerini hem de ekosistemlerin işleyişini derinden etkilemektedir. Bu etkilerin anlaşılması, hem biyolojik çeşitliliğin korunması hem de sürdürülebilir kara ulaşım planlaması açısından büyük önem taşımaktadır. Karayollarının kuşlar üzerindeki etkileri, ekolojik, davranışsal ve fizyolojik düzeylerde ortaya çıkmakta; bu etkiler çoğu zaman birbirini tetikleyen karmaşık süreçler şeklinde gözlenmektedir.

Ahlat Sazlığı Van Gölü'nün kuzey batı kıyısında yer almakta olup Van Gölü'nden Ahlat-Tatvan karayolu ve dar bir kumul şeridi ile ayrılmaktadır. Tarım Orman Bakanlığı 14. Bölge Müdürlüğü tarafından 09.04.2015 tarihinde Ulusal öneme sahip sulak alan olarak tescil edilen alan, tatlı su karakterinde olup su kuşları için önemli bir yaşam alanı teşkil eder. Sulak alanı belirli bölgelerde bölen karayolunun geliş ve gidiş istikametinde oldukça yoğun bir trafiğin olduğu kaydedilmiştir.

Bu çalışmada karayolunun alanda konaklayan ve üreyen kuş türleri üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Özellikle yaz ve sonbahar aylarında (temmuz, ağustos ve eylül) karayolu kaynaklı kuş ölümlerinin arttığı ve Passeriformes takımı mensuplarının diğerlerine göre daha fazla risk altında olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyoçeşitlilik, kuş popülasyonları, karayolu, trafik gürültüsü, kuş ölümleri

Abstract

The rapid expansion of road networks on a global scale stands out as one of the primary human-induced factors causing the fragmentation of natural habitats and a decline in biological diversity. Birds, in particular, are significantly affected by the multi-dimensional impacts of roads, including habitat loss, fragmentation, traffic noise, light pollution, and direct mortalities. This situation profoundly influences both the population dynamics of species and the functioning of ecosystems. Understanding these impacts is of great importance for both the conservation of biodiversity and the sustainable planning of land transportation. The effects of roads on birds manifest at ecological, behavioral, and physiological levels; these effects are often observed as complex processes that trigger one another.

Ahlat reed-bed is located on the northwestern shore of Lake Van, and is separated from the lake by the Ahlat-Tatvan highway and a narrow strip of sand dunes. The area was designated as a wetland of national importance by the Ministry of Agriculture and Forestry, 14th Regional Directorate, on 09.04.2015. It is characterized as a freshwater habitat and constitutes an important living space for water birds. It has been noted that the highway, which divides the wetland in certain areas, experiences very heavy traffic in both directions.

In this study, the impact of the highway on bird species that reside and breed in the area was evaluated. It was found that especially during the summer and autumn months (July, August, and September), bird mortalities caused by the highway increased, and that members of the order Passeriformes were at greater risk compared to others.

Keywords: Biodiversity, bird population, highway, traffic noise, bird deaths

INTEGRATING FUZZY LOGIC AND BIOLOGICAL CONDITION GRADIENT (BCG) FOR ECOLOGICAL WATER QUALITY ASSESSMENT

Özgür Eren ZARİÇ[1], Ömer LEKESİZ[2], Abuzer ÇELEKLİ[3]

[1]Gaziantep University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Biology, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-5293-871X

[2]Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Arts and Science, Department of Biology, Osmaniye, Türkiye, Orcid: 0000-0003-2982-0136

[3]Gaziantep University, Faculty of Art and Science, Department of Biology, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2448-4957

Abstract

Conventional water quality assessment methods, particularly classical Water Quality Indices (WQI), rely on rigid threshold values and discrete classifications, often failing to capture the inherent uncertainty, nonlinear interactions, and gradual ecological transitions characteristic of aquatic systems. In contrast, Fuzzy Logic provides a flexible framework by assigning membership degrees between 0 and 1, enabling the representation of ambiguity and soft ecological boundaries. Integrating fuzzy logic with the Biological Condition Gradient (BCG) allows physicochemical variability to be directly linked with ecological status along a gradient from minimally disturbed to severely degraded conditions. A fuzzy inference system (FIS) was developed to evaluate water quality and generate outputs in terms of BCG levels (1–5). The model incorporated key physicochemical parameters, including dissolved oxygen (DO), pH, electrical conductivity (EC), total phosphorus (TP), temperature, biochemical oxygen demand (BOD), and ammonium (NH_4^+). These variables were transformed into linguistic terms (low, moderate, high) using triangular (trimf) and trapezoidal (trapmf) membership functions. A rule base consisting of expert-defined "If–Then" relationships was constructed to represent interactions among environmental stressors. Both Mamdani and Sugeno inference approaches were evaluated, and defuzzification was performed using the centroid method to produce a crisp ecological score mapped onto BCG classes (Level 1: very good; Level 5: very poor). Biological indicators, including phytoplankton composition and diatom-based indices, were also integrated to enhance ecological relevance. The model generated continuous ecological quality outputs that were effectively translated into discrete BCG classes. Compared to traditional WQI approaches, the fuzzy model demonstrated higher sensitivity under transitional conditions and eliminated abrupt classification shifts near threshold values. Integration of biological metrics improved the representation of cumulative ecological impacts, while the model successfully captured synergistic stressor interactions, particularly between nutrient enrichment and oxygen depletion. Outputs showed strong agreement with observed ecological conditions and provided a more nuanced classification across environmental gradients. Overall, fuzzy logic-based models producing outputs within a 1–5 BCG framework offer a robust, flexible, and ecologically meaningful approach for water quality assessment. By incorporating uncertainty, expert knowledge, and both physicochemical and biological data, this framework improves ecological classification accuracy and supports sustainable water resource management, particularly in complex and heterogeneous aquatic systems.

Keywords: Decision Support Systems, Diatom Indices, Ecological Status Classification, Phytoplankton Metrics, Physicochemical Parameters

THE EFFECT OF *FUNNELİFORMİS MOSSEAE, TRİCHODERMA VİRENS*, AND *NİGELLA SATİVA* L. WASTE APPLİCATİONS ON PLANT GROWTH AND PHYSİOLOGİCAL CHARACTERİSTİCS İN BROCCOLİ (*BRASSİCA OLERACEA* L. VAR. *İTALİCA*) UNDER GREENHOUSE CONDİTİONS

Yemliha ÇİRKİN[1] , Sezgin ARDA[2] , [3]Hasret GÜNEŞ, [4]Muzaffer KIRPIK, [5]Ceren Ayşe BAYRAM ,[6]Gökhan BÜYÜK

[1]Adıyaman University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Adıyaman-Türkiye, Orcid: 0009-0008-9433-5528

[2]Adıyaman University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Adıyaman-Türkiye, Orcid: 0009-0003-9166-5015

Adıyaman University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Adıyaman-Türkiye, Orcid: 0000-0003-3155-2695

[4]Department of Plant and Animal Production, Adıyaman University Kahta Vocational School, Kahta, Adıyaman, Türkiye, Orcid: 0000-0002-8089-2533

[5]Department of Plant and Animal Production, Adıyaman University Kahta Vocational School, Kahta, Adıyaman, Türkiye, Orcid: 0000-0002-1570-273X

[6]Adıyaman University, Faculty of Agriculture, Department of Plant Protection, Adıyaman-Türkiye, Orcid: 0000-0002-0522-3188

Abstract

In this study, conducted under greenhouse conditions, the effects of *Funneliformis mosseae, Trichoderma virens*, and 3% black cumin waste on the growth and physiological characteristics of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) plants were evaluated. The study examined parameters such as root colonization and soil spore density, rather than color, photosynthesis, chlorophyll content, and plant morphological development parameters. The findings revealed that the treatments had varying degrees of effect on the examined characteristics. While the highest values for the color parameter were observed in the two- and three-component combinations, the highest photosynthetic activity was observed in the single applications of *F. mosseae* and black cumin waste. The most significant increases in head length, head width, and dry weight were observed in the three-component combination treatment. In terms of vegetative growth parameters, the highest values for shoot length (31%), shoot diameter (80%), and crown diameter were obtained in the *F. mosseae* application. Additionally, the largest increase in soil spore density (51%) was observed with the triple-combination application. This study presents findings on the effects of combining microbial inoculants with plant-based waste materials on the growth and physiological characteristics of broccoli plants. The results indicate that these practices can produce positive interactions in certain parameters and have the potential to serve as an alternative to chemical inputs within the framework of sustainable production systems.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungus (AMF), *Trichoderma virens*, Plant waste, Greenhouse cultivation, Plant physiology

COUPLED HYDROGEOCHEMICAL AND MICROBIAL PROCESSES DRIVING POST-EARTHQUAKE GROUNDWATER TRANSFORMATIONS AND DRINKING WATER RISKS

Özgür Eren ZARİÇ[1], Abuzer ÇELEKLİ[2]

[1]Gaziantep University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Biology, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0001-5293-871X

[2]Gaziantep University, Faculty of Art and Science, Department of Biology, Gaziantep, Türkiye, Orcid: 0000-0002-2448-4957

Abstract

Earthquakes are not only destructive surface phenomena but also powerful subsurface disturbances that significantly alter groundwater systems through coupled physical, hydrogeochemical, and microbiological processes. Seismic waves and fault displacements increase aquifer permeability, disrupt hydraulic barriers, and enhance connectivity between previously isolated aquifer units, thereby facilitating fluid mixing and the upward migration of deep-seated fluids. These processes induce hydrogeochemical perturbations, including shifts in redox conditions and the mobilization of toxic elements such as arsenic, iron, and manganese, posing long-term risks to drinking water quality and human health. This review is based on a comprehensive and systematic synthesis of peer-reviewed studies retrieved from major scientific databases, focusing on earthquake-induced hydrogeochemical changes, microbial dynamics, and associated human health risks in groundwater systems. At the microbiological level, seismic disturbances exert dual and contrasting effects on subsurface ecosystems. In deep aquifers, the release of reduced compounds such as hydrogen, methane, and dissolved organic carbon stimulates chemolithotrophic microbial activity, leading to rapid metabolic activation and shifts in community structure. In contrast, shallow aquifers experience ecological disruption due to enhanced connectivity and the infiltration of surface-derived contaminants, resulting in microbial homogenization and the introduction of exogenous microorganisms. These changes may reduce the natural purification capacity of groundwater systems and increase vulnerability to contamination. From a public health perspective, the most critical risks arise from earthquake-induced damage to water supply and sanitation infrastructure. The rupture of sewer networks and septic systems facilitates the direct infiltration of untreated wastewater into groundwater and drinking water systems. This process introduces enteric pathogens, including *Escherichia coli*, *Salmonella spp*., noroviruses, rotaviruses, and *Cryptosporidium* spp., while increased turbidity enhances pathogen survival and transport. Consequently, these conditions significantly elevate the risk of waterborne disease outbreaks, including cholera and typhoid fever. This review highlights that groundwater responses to seismic activity are governed by tightly interconnected hydrogeological, geochemical, and microbiological processes. Effective water management in earthquake-prone regions therefore requires a proactive and integrated approach that combines resilient infrastructure design, long-term monitoring systems, and the incorporation of groundwater into Disaster Risk Reduction frameworks. Strengthening the seismic resilience of water systems is essential for safeguarding drinking water security and minimizing both immediate and long-term public health risks.

Keywords: Aquifer connectivity, Earthquake, Groundwater contamination, Hydrogeochemistry, Microbial Dynamics

PESTİSİTSİZ KOŞULLARDA YETİŞTİRİLEN BAĞ FİDANLARINDA *Theretra alecto* (L., 1758) (LEPIDOPTERA: SPHINGIDAE)'NUN BELİRLENMESİ VE AGROEKOSİSTEM BİYOÇEŞİTLİLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

DETERMINATION OF *Theretra Alecto* (L., 1758) (LEPIDOPTERA: SPHINGIDAE) IN PESTICIDE-FREE GRAPEVINE SAPLINGS AND ITS EVALUATION IN TERMS OF AGROECOSYSTEM BIODIVERSITY

İbrahim Halil DEMİR[1], Mustafa AÇIKGÖZ[2], Mahmut Murat ASLAN[3] ve Elif NURHAK[4]

[1]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma, Kahramanmaraş, Türkiye, Orcid:0009-0002-9936-1692

[2]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma, Türkiye, Orcid:0000-0001-5339-6537

[3]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma, Türkiye, Orcid:0000-0002-4586-1301

[4]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma, Türkiye, Orcid:0009-0004-8001-6906

Özet

Tarım alanları, üretim amaçlı kullanılmalarının yanı sıra birçok canlı türü için yaşam ortamı oluşturmaktadır. Dünya ekosistemlerinde biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi, çevresel değişimlerin hız kazandığı günümüzde giderek kritik bir önem taşımaktadır. Bu açıdan, özellikle pestisit kullanılmadan yetiştirilen bitkiler, böcek çeşitliliğinin daha doğal koşullarda gözlemlenebildiği sistemler olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, Kahramanmaraş ilinde 2025 yılında açık alanda tüplere dikilmiş ve herhangi bir pestisit uygulaması yapılmadan yetiştirilen toplam 15 adet bağ (*Vitis vinifera* L.) fidanı üzerinde yürütülmüştür. Bağ fidanlarının yapraklarında beslenen toplam 18 adet Sphingid larvası tespit edilmiştir. Bu larvalardan 11 adet olgun larva toplanmış, diğerlerinin ise gelişimini tamamlamaları ve doğal ortamdaki davranışlarının gözlemlenebilmesi için konukçu bitki üzerinde bırakılmıştır. Toplanan larvalar laboratuvar koşullarında kültüre alınmış, 2-3 günde bir taze bağ yaprakları verilmiş ve 10 adet ergin birey elde edilmiştir. Bu ergin bireylerin *Theretra alecto* (L., 1758) (Lepidoptera: Sphingidae) olduğu belirlenmiştir. Larvaların pestisit kullanılmayan ortamda yoğun bir şekilde bulunmaları ve yaşam döngülerini tamamlamaları, bağ ekosisteminde doğal biyoçeşitliliğin varlığını ve işleyişini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, bir yandan bağ fidanlarında zararlı potansiyelini işaret ederken, diğer yandan pestisit kullanılmayan sistemlerde bitki-böcek etkileşimlerinin daha net gözlenebileceğini göstermektedir. Ayrıca bu durum, agroekosistemlerde doğal dengenin korunmasına katkı sağladığını da göstermektedir. Sonuç olarak, bu tür çalışmaların hem agroekosistemlerdeki biyolojik çeşitliliğin anlaşılmasına katkı sağlayacağı hem de sürdürülebilir tarım uygulamaları ve entegre zararlı yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli veriler sunacağı öngörüsündeyiz.

Anahtar kelimeler: Biyoçeşitlilik, Sphingidae, *Theretra alecto*, bağ

Abstract
Agricultural areas serve not only production purposes but also provide habitats for many organisms. The conservation of biodiversity in global ecosystems and the development of sustainable agricultural practices have become increasingly critical amid accelerating environmental change. In this context, plants grown without pesticide applications stand out as systems where insect diversity can be observed under more natural conditions. This study was conducted in 2025 in Kahramanmaraş province on 15 grapevine (*Vitis vinifera* L.) saplings planted in pots under open-field conditions, without any pesticide application. A total of 18 sphingid larvae feeding on the leaves of grapevine saplings were detected. Of these, 11 mature larvae were collected, while the remaining individuals were left on the host plant to complete their development and to observe their natural behaviour. The collected larvae were reared under laboratory conditions, provided with fresh grapevine leaves every 2–3 days, and 10 adult individuals were obtained. These adults were identified as *Theretra alecto* (L., 1758) (Lepidoptera: Sphingidae). The presence and successful completion of the life cycle of these larvae in a pesticide-free environment indicate the existence and functioning of natural biodiversity within the vineyard ecosystem. These findings indicate the potential pest status of the species in grapevine saplings and demonstrate that plant–insect interactions can be more clearly observed in pesticide-free systems. Furthermore, this situation highlights the role of such systems in maintaining the natural balance of agroecosystems. In conclusion, studies of this kind provide valuable insights into biodiversity in agroecosystems and contribute to the development of sustainable agricultural practices and integrated pest management strategies.

Keywords: Biodiversity, Sphingidae, *Theretra alecto*, grapevine

SU ARITIMINDA YEŞİL KİMYASAL YÖNTEMLER

Aysel ALKAN UÇKUN

Karabük Üniversitesi Orman Fakültesi Doğa Koruma ve Biyoçeşitlilik Yönetimi Bölümü, Çevre koruma, Karabük, Türkiye, Orcid: 0000-0002-8957-7476

Özet

Su kaynakları üzerindeki baskı giderek artarken, arıtma teknolojilerinin yalnızca etkili değil aynı zamanda çevreyle uyumlu olması da kritik bir gereklilik hâline gelmiştir. Bu bağlamda yeşil kimya yaklaşımları, özellikle ileri oksidasyon prosesleri ve fotokatalitik sistemlerle öne çıkmaktadır. İleri oksidasyon proses teknolojileri, hidroksil radikalleri aracılığıyla pestisitler, farmasötikler ve endüstriyel kirleticiler gibi dirençli bileşikleri parçalayabilmekte; birçok çalışmada toplam organik karbon gideriminin %60–90 aralığında gerçekleştiği bildirilmektedir. Güneş ışığı destekli fotokataliz ise TiO_2 tabanlı sistemlerle boyar maddeler ve antibiyotiklerde çoğu durumda %90'ın üzerinde giderim verimi sağlayabilmektedir. Bununla birlikte biyolojik arıtım sistemleri, mikroorganizmalar aracılığıyla organik kirleticilerin doğal parçalanmasını sağlayarak düşük enerji tüketimi ile dikkat çekmektedir. Doğal koagülantlar, özellikle bitki bazlı bileşenler sayesinde kimyasal kullanımını azaltarak bulanıklık gideriminde etkili bir alternatif sunmaktadır. Membran teknolojileri (ters ozmoz ve nanofiltrasyon gibi) yüksek kaliteli su üretiminde %95'in üzerinde çözünmüş madde giderimi sağlayabilmekte, yapay sulak alanlar ise düşük maliyetli ve doğa temelli bir arıtım seçeneği olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda öne çıkan hibrit sistemlerde ise fotokataliz, ozonlama ve biyolojik süreçlerin entegrasyonu sayesinde tekil yöntemlere göre %15–25 daha yüksek giderim performansı elde edilebilmektedir. Bu gelişmeler, su arıtımında artık yalnızca "temizleme" değil, aynı zamanda "dönüştürme" yaklaşımının benimsendiğini göstermektedir. Tüm bu ilerlemelere rağmen, bu teknolojilerin yaygın uygulamaya geçebilmesi için maliyet, enerji verimliliği ve uzun vadeli performans gibi konular hâlâ tartışılmaktadır. Yine de mevcut eğilim, su arıtımının geleceğinin doğayla daha uyumlu ve yenilikçi çözümlerle şekilleneceğini açıkça ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil kimya, su arıtımı, sürdürülebilirlik.

Abstract

As pressure on water resources increases, it has become critical that treatment technologies are not only effective but also environmentally friendly. In this context, green chemistry approaches, particularly advanced oxidation processes and photocatalytic systems, stand out. Advanced oxidation process technologies can break down resistant compounds such as pesticides, pharmaceuticals, and industrial pollutants through hydroxyl radicals; many studies report total organic carbon removal rates ranging from 60% to 90%. Sunlight-assisted photocatalysis, with TiO_2-based systems, can achieve removal efficiencies of over 90% in most cases for dyes and antibiotics. Furthermore, biological treatment systems are noteworthy for their low energy consumption, enabling the natural decomposition of organic pollutants through microorganisms. Natural coagulants, especially plant-based components, offer an effective alternative in turbidity removal by reducing chemical use. Membrane technologies (such as reverse osmosis and nanofiltration) can achieve over 95% dissolved solids removal in high-quality water production, while artificial wetlands stand out as a low-cost and nature-based treatment option. In recent years, hybrid systems have gained prominence, achieving 15-25% higher removal performance compared to individual methods thanks to the integration of photocatalysis, ozonation, and biological processes. These developments show that water treatment is now adopting not only a "cleaning" approach but also a "transformation" approach. Despite all these advancements, issues such as cost, energy efficiency, and long-term performance are still being debated before these technologies can be widely implemented. Nevertheless, the current trend clearly indicates that the future of water treatment will be shaped by more environmentally friendly and innovative solutions.

Keywords: Green chemistry, water treatment, sustainability.

REJENERATİF PAMUK TARIMINDA BİYOÇEŞİTLİLİĞİN ÖNEMİ

Cevher İlhan CEVHERİ

Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri, Endüstri Bitkileri, Şanlıurfa, Türkiye, Orcid: 0000-0002-7070-2652

Özet

Tarım sistemi evcilleştirme ve kültüre alma ile başlayan 12000 yıllık geçmişe sahiptir. İnsanlık tarihinde oldukça yakın bir döneme karşılık gelir, Tarım tarihi incelendiğinde bölgelere göre değişmekle birlikte farklı evreler geçirdiği ve özellikle verimlilik arayışı sonucu çiftçilerin yerel kaynaklara dayalı ekim nöbeti gibi sistem geliştirdikleri veya guano gibi doğal maddeleri uyguladıkları görülmektedir. Tarımın, doğal sistemlerle uyum içinde çalışan bir anlayışla ele alınması; birbirine bağlı ve karşılıklı fayda sağlayan ekosistemlerin değerini ve dayanıklılığını tanıması ve bunu, kaynakları tüketmeye dayalı tarımsal sistemlere karşı bir yaklaşım olarak görmesi. Ayrıca, yerli ve kadim halkların bu düşünce biçimini yüzyıllardır gıda ve lif üretiminde uyguladıklarının kabul edilmesi — yani bunun yeni bir kavram olmadığının anlaşılması. Bunun yanında, tek tip bir uygulama listesine dayanan "her yerde aynı şekilde uygulanır" yaklaşımı yerine; bütüncül, bulunduğu yere özgü ve sistem temelli bir yaklaşımın benimsenmesi. Pamuk bitkisi lifi ile tekstil endüstrisi ve tohumu ile yağ sanayisinin önemli bir hammaddesidir. Pamuk tarımında aşırı kimyasal gübre ve ilaçların kullanılması bitki sağlığı ve toprak sağlığı açısından çeşitli riskler ortaya çıkarmıştır. Meydana gelen bu olumsuzluklar, yeni tarım sistemlerinin uygulanmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu yeni süreç sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Sürdürülebilir bir tarımın sağlanması için ikame edilmesi gereken süreçlerden bir tanesi de Rejeneratif Pamuk Tarım sistemidir. Bu sistemin temel bazı bileşenleri vardır. Bunlar; Toprak sağlığı, Biyoçeşitlilik, Karbon birikimi ve Sosyal adalettir. Bu çalışmamızda biyoçeşitliliğin pamuk verim ve kalitesinde önemine değinilmiştir. Saha araştırmaları ve çiftçi gözlemleri biyolojik çeşitliliğin onarıcı tarım sürecinde büyük bir öneme sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu araştırmada temel amaç; rejeneratif tarımda temel ögelerden birisi olan biyoçeşitlilik sisteminin incelenmesi ve diğer tarım sistemleriyle karşılaştırılmasıdır.

Anahtar kelimeler: Pamuk, Rejeneratif tarım, Biyoçeşitlilik.

Abstract

The agricultural system has a history spanning 12,000 years, beginning with domestication and cultivation. This corresponds to a relatively recent period in human history. An examination of agricultural history reveals that, whilst varying by region, it has undergone different phases; in particular, it is evident that, in the pursuit of productivity, farmers developed systems such as crop rotation based on local resources or applied natural materials such as guano. Agriculture must be approached with an understanding that works in harmony with natural systems; it must recognise the value and resilience of interconnected ecosystems that provide mutual benefits, and view this as an alternative to agricultural systems based on the depletion of resources. Furthermore, it is important to acknowledge that indigenous and traditional communities have been applying this way of thinking in food and fibre production for centuries — that is, to understand that this is not a new concept. In addition, rather than an approach based on a standardised list of practices that assumes 'the same approach applies everywhere', a holistic, site-specific and systems-based approach should be adopted. The

cotton plant is a key raw material for the textile industry (through its fibre) and the oil industry (through its seeds). The excessive use of chemical fertilisers and pesticides in cotton farming has given rise to various risks in terms of plant and soil health. These adverse effects have made the adoption of new farming systems imperative. This new approach is crucial for sustainability. One of the processes that must be adopted to ensure sustainable agriculture is the Regenerative Cotton Farming system. This system has several key components: soil health, biodiversity, carbon sequestration and social justice. In this study, we have highlighted the importance of biodiversity for cotton yield and quality. Field studies and farmer observations have demonstrated that biodiversity plays a significant role in the regenerative farming process. The primary objective of this research is to examine the biodiversity system—one of the fundamental elements of regenerative farming—and to compare it with other agricultural systems.

Keywords: Cotton, Regenerative farming, Biodiversity.

Giriş

Tarım, evcilleştirme ve kültüre alma ile başlayan 12 000 yıllık geçmişe sahiptir. İnsanlık tarihinde oldukça yakın bir döneme karşılık gelir, Tarım tarihi incelendiğinde bölgelere göre değişmekle birlikte farklı evreler geçirdiği ve özellikle verimlilik arayışı sonucu çiftçilerin yerel kaynaklara dayalı ekim nöbeti gibi sistem geliştirdikleri veya guano gibi doğal maddeleri uyguladıkları görülmektedir. Dünya savaşları sırasında ve sonrası dönemde ucuz gıda arayışı 1960 larda hızlı nüfus artışı ile birlikte yoğun girdi kullanımına ve tek ürüne dayalı monokültürü tetiklenmiş ve tarımda yoğun girdi kullanımı hızlanmıştır. 1970 lerden sonra ise tarımın çevre ilişkisi ve kirletici rolü daha da önem kazanmıştır.

Ekosistem, doğanın bilimsel çalışmaları açısından temel birimdir. Ekosistem, ayrılmaz ve birbiri ile ilişkili iki bileşenden oluşan, tanımlanmış bir ortamdır: Biyotop (abiyotik): iklim, sıcaklık, nem, besin konsantrasyonu veya pH gibi belirli özellikleri taşıyan belirli bir fiziksel ortam. Biyosenoz (biyotik): Hayvanlar, bitkiler veya mikroorganizmalar gibi, sürekli etkileşim halinde olan ve karşılıklı birbirleriyle bağımlı olan canlı organizmalar.

Doğal ekosistemler **"dengeli"** sistemlerdir. Bu, ekosistemi oluşturan farklı organizmalar arasındaki etkileşimlerin belirli bir dengeye 'istikrara' katkıda bulunduğu anlamına gelir. Örneğin, otlak ekosistemlerinde, otoburlar ot tüketir, ancak aynı zamanda toprağı dışkılarıyla besler, bu da otların tekrar büyümesini sağlar ve bir çeşit denge sağlar. Yine de bu, bir ekosistemin, hatta sağlıklı bir ekosistemin bile statik olduğu anlamına gelmez. Gerçekte, ekosistemler değişen dinamik süreçlere dayandıkları için sürekli gelişmektedir.

Yenileyici tarım ilk olarak Rodale (1986) tarafından tanımlanmış ve bir çiftlik içindeki "içsel" (biyolojik zararlı yönetimi, baklagillerle azot fiksasyonu, toprak sağlığı vb.) ve "dışsal" (gübre, tohum, iş gücü vb.) girdiler bağlamına odaklanmıştır. Rodale'nin (1986) RA tanımı, merkezi bir soruya odaklanmaktadır: "[Tarım] girdileri, çiftçilerin binlerce yıldır tüm üretimleri için bağımlı oldukları içsel kaynakların canlılığını gereksiz yere azalttı mı?" Bu soruyu ele aldıktan sonra, Rodale (1986) "[üreticilerin] çiftliklerinin kendi bol kaynaklarından zenginlik yaratma kapasitesini daha verimli kullanmayı öğrenerek çiftliklerini yenileyebileceklerini" yinelemektedir. Rodale'nin varsayımına dayanarak, yenileyici uygulamalar genellikle bir sistem içindeki toprak sağlığının genel biyolojik, kimyasal ve fiziksel yönlerini iyileştirmeyi amaçlar, tarihsel olarak organik uygulamalar yoluyla (Newton ve ark., 2020).

Çim türü örtü bitkileri, özellikle çavdar (Secale cereale) veya kış buğdayı (Triticum aestivum L.), tarihsel olarak toprak rüzgar erozyonunu azaltmak için pamuk tarım ekosistemlerinde THP genelinde kullanılmıştır. Rejeneratif tarım ve artan toprak sağlığı bağlamında, örtü

bitkisi kullanımındaki tereddüt, esas olarak örtü bitkilerinin pamuk yetiştirme mevsiminden önce ve sırasında bitki tarafından kullanılabilir toprak nemini azalttığı ve böylece pamuk lif verimini düşürdüğü anlatısından kaynaklanmaktadır (Cobos ve ark., 2026).

Bütüncül Yaklaşım

Bütüncül yönetim: Üretim sistemi ve girdi kullanımının yoğunluğuna göre değişebilir. Sentetik mineral gübreler kısıtlandığında verim düşebilir (özellikle N, P) Zararlı ve hastalık problemleri bir denge kurulana kadar geçiş sırasında artabilir, Mevcut girdileri analiz sonuçlarına göre planlayarak ve/veya ihtiyaç duyulanları belirleyerek çözüm bulunabilir. Nihai bir çözüm, ayrıntılı ve adım adım bir geçiş planlamak olabilir.

Küresel bağlamda sıcaklık ortalamalarının artmasının yanı sıra, dünyanın bazı yerlerinde sel ve su baskınları yaşanırken bazı yerlerinde ise kuraklığın yüksek olduğu sıkça görülmektedir. Yaşanan bu gelişmelerin iklim değişikliği ve çevre kirliliğinden kaynaklı sonuçlar olduğu bilinmektedir. Çevre kirliliği ve iklim değişikliğine ise küresel bazda artan sera gazı (greenhouse gas-GHG) emisyonlarının temel faktör olduğu ortaya çıkmaktadır.

Dünyada tarım ve hayvancılık çevresel ayak izinin üçte birine sahiptir (Newton et al. 2020; Searchinger et al. 2019). FAO verileri incelendiğinde ise, 2020 yılında tarım sektöründen kaynaklı GHG salımlarında hayvancılık faaliyetleri (%39.8 enterik fermantasyon. %15.5 Merada bırakılan gübreler) ve sentetik gübrelerin (%12) en önemli kirleticiler olduğu görülmektedir (Çakmakçı et al. 2021). Ortaya çıkan bu durum tarımsal faaliyetlerden kaynaklı emisyonların azaltılmasının kapsayıcı ve sürdürebilir yöntemlerin entegrasyonu ile mümkün olabileceği düşüncesini güçlendirmektedir. Ortaya çıkan bu durum, çevre dostu veya sürdürülebilir tarım olarak bilinen tarımsal üretim metotlarının önemini arttırmıştır.

Şekil-1 Bütüncül Yaklaşımın Yol Haritası

Materyal ve Metot

Bu çalışmada teorik araştırmalar, saha çalışmaları ve uygulamalı eğitimler sonucunda ortaya çıkan bütüncül yaklaşım vardır. Araştırma sadece bir tarla bitkileri çalışması değil, aynı zamanda tarımda bozulan dengeleri düzeltmek için tasarlanan yol haritalarını içermektedir.

Bulgular ve Tartışma

Rejeneratif Tarım Nedir?

Tarımın, doğal sistemlerle uyum içinde çalışan bir anlayışla ele alınması; birbirine bağlı ve karşılıklı fayda sağlayan ekosistemlerin değerini ve dayanıklılığını tanıması ve bunu, kaynakları tüketmeye dayalı tarımsal sistemlere karşı bir yaklaşım olarak görmesi. Ayrıca, yerli ve kadim halkların bu düşünce biçimini yüzyıllardır gıda ve lif üretiminde uyguladıklarının kabul edilmesi — yani bunun yeni bir kavram olmadığının anlaşılması.

Bunun yanında, tek tip bir uygulama listesine dayanan "her yerde aynı şekilde uygulanır" yaklaşımı yerine; bütüncül, bulunduğu yere özgü ve sistem temelli bir yaklaşımın benimsenmesi.

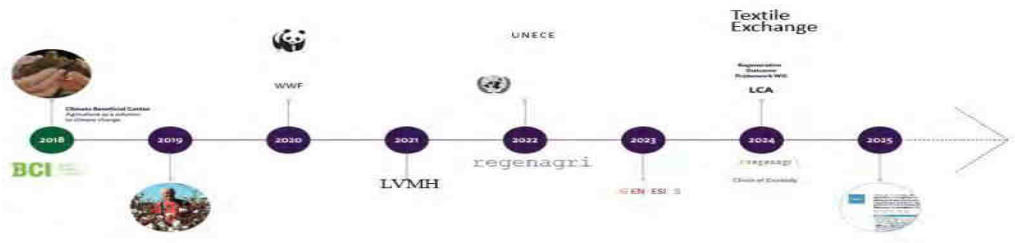
İklim+ Strateji

Textile Exchange olarak, bu doğrultuda önemli hedefler ortaya konulmuştur. 2030 yılına kadar lif ve ham maddelerin üretiminden kaynaklanan emisyonlarda %45 oranında bir azaltım sağlanmasına sektörün ulaşmasına yardımcı olmak temel hedef olarak belirtilmiştir. Bunu yaparken, küresel ısınmayı 1,5°C ile sınırlandırmaya ve meydana gelmiş olan zararı onarmaya katkıda bulunmak amaçlanmaktadır. Bu yolu İklim+ olarak adlandırıyoruz; çünkü bu yaklaşım yalnızca emisyonlarla ilgili değildir. Bunun yerine, toprak sağlığı, su ve biyolojik çeşitlilik gibi birbirine bağlı etki alanlarını içeren ve birbirinden bağımsız çözümler yerine karşılıklı bağımlı etkileri esas alan bütüncül bir yaklaşımı ifade eder.

Şekil 2. Biyoçeşitliliğin Yol Haritası.

Textile Exchange 2030 vizyonuna göre; Climate+, elyaf ve hammadde üretiminden kaynaklanan sera gazı (GHG) emisyonlarını 2030 yılına kadar %45 oranında azaltmaya yönelik endüstriyi yönlendirme hedeflenmektedir. Sürdürülebilirliğe bütüncül bir yaklaşımı benimseyerek, birbirine bağlı etki alanları için özel olarak tasarlanmış, hedef odaklı stratejiler geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Sentetik gübre kullanımının etkilerini azaltmak; iklim ve toprak alanlarında önemli etki oluşturan ve İklim+ hedefine doğru ilerlemeyi sağlayan disiplinler arası bir yaklaşımın güçlü bir örneğidir.

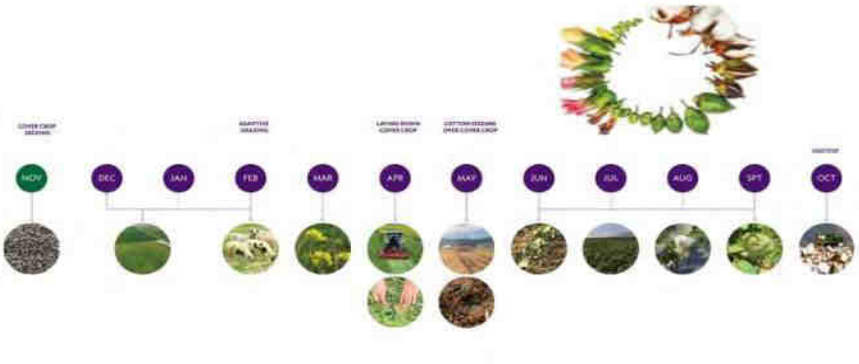
Rejeneratif Pamuk Yolculuğu



Şekil-3. Rejeneratif Pamuk Üretim Yolculuğunun Kronolojik Haritası.

Rejeneratif Pamuk yolculuğun ilk adımlar 2018 yılında BCI çalışmaları ile başlamıştır. Burada temel amaç iklim dostu pamuk üretimi temel amaçtır. 2019 yılında iyi pamuk uygulamalarının tarla araştırma ve denemeleri başlamıştır. 2020 yılında WWF çalışmaları başlamıştır. 2022 yılında Regenagri çalışmaları başlamıştır. 2024 yılında Textile Exchange Rejeneratif pamuk çalışmalarına hız vermiştir. 2026 yılında BCI Rejeneratif pamuk standartları ilan edilmiştir.

Rejeneratif Pamuk Hayat Döngüsü



Şekil-4. Rejeneratif Pamuk Hayat Döngüsü.

Rejeneratif pamuk sisteminde Kasım ayında ön bitki dediğimiz baklagil bitkisinin ekimiyle başlar. Aralık ayında biyoçeşitlilik sürecinin başlangıcı olarak bitki çimlenmesi sonrası gelişme periyotları izlenir. Şubat ayında sürdürülebilirliğin en önemli bir basamağı olan hayvan otlatma süreci başlar. Mart ayında yeşil gübre bitkileri çiçeklenme dönemine gelir. Nisan ayında nodozite bakterilerinin toprağa bağladıkları azot fiksasyonu zirveye çıkar. Nisan ayının ortasında baklagil bitkileri toprağa karıştırılır. Mayıs ayının ilk haftası yeşil gübrenin devamı olan pamuk ekimi yapılır. Pamuk tarımında tohumdan, koza olgunlaşması ve hasat sürecine kadar bütün aşamalarla izlenebilirlik ve sürdürülebilirlik süreçleri vardır. Özellikle pamuk üretiminin en önemli evreleri olan Haziran-Eylül aylarında bütün bitki gelişim periyotları ve kültürel yöntemler rejeneratif tarım yöntemlerine göre yapılması gerekir. Ekim ayında Rejeneratif yöntemlere göre hasat, depolama ve çırçırlama aşamaları yürütülür.

Ürün Çeşitliliği

Tarımın başlangıcından bu yana, ürün çeşitliliğinin artırılması dünya genelinde çiftçilere önemli faydalar sağlamıştır. Erken dönem tarım topluluklarına ait bitki ve hayvan kalıntıları üzerinde yapılan genetik analizler, gıda ve yem amaçlı kullanılan türlerin oldukça geniş bir çeşitliliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Her bir bitki ve hayvan türünün hastalıklara ve olumsuz iklim koşullarına karşı kendine özgü duyarlılıkları bulunduğundan, gıda üretiminin yalnızca birkaç türe dayandırılması geçmişte olduğu gibi günümüzde de önemli riskler taşımaktadır. Bu durum hem bireysel çiftçi aileleri hem tarımsal topluluklar hem de küresel nüfus açısından geçerlidir.

Şekil-5. Biyolojik Çeşitlilik(Ürün çeşitliliği)

Sonuç

Geleneksel üretim tarımı ile ilgili çevresel sınırlamalar yaşayabilecek diğer yarı kurak tarım bölgelerine uygulanabilir ve araştırmacılara ve üreticilere olası yenileyici çözümler konusunda rehberlik edebilir. Rejeneratif tarım uygulamalarının belirli bölgelere uygulanabilir farklı tanımları olabilir. Yenileyici uygulamaların başarmayı hedeflediği temel değerleri vurgulamak önemlidir: (1) toprak bozulmasını en aza indirmek, (2) toprak yüzey örtüsünü korumak, (3) mümkün olduğunca uzun süre toprağa canlı bir kök yerleştirmek, (4) biyoçeşitliliği artırmak (hayvan/hayvancılık entegrasyonunu içerebilir), (5) sistemin ekonomik sürdürülebilirliğini korumak, (6) toprak suyu korumasını optimize etmek ve (7) tarım uygulamalarından kaynaklanan küresel iklim değişikliği (sera gazı emisyonları) etkilerini en aza indirmek. Örtü bitkisi yetiştiriciliği, azaltılmış toprak işleme, ürün rotasyonu, çok yıllık yem bitkisi sistemleri ve entegre bitki-hayvancılık sistemleri, Rejeneratif tarımın temel değerlerini karşılama potansiyeli göstermektedir; ancak yarı kurak bölgelerde uzun vadeli başarıları için daha fazla araştırma ve bu uygulamaların bölgesel optimizasyonu gereklidir. Önümüzdeki süreçte toprak kaynakları, su kaynakları ve biyoçeşitliliğin korunması ve sürdürülmesi için, Rejeneratif tarıma daha çok önem verilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

Cobos, C., Boogades, N., Burke, J., DeLaune, P., & Lewis, K. (2026). A Review of Regenerative Agriculture in Cotton Production Systems Across the Semi-Arid Texas High Plains. *Journal of the ASABE*, *69*(1), 133-148. DOI:10.13031/ja.16451

Çakmakçı, Yusuf, Korkmaz Bellitürk, and Harun Hurma. 2021. "Hayvancılıktan Kaynaklı Emisyonlar ve Azaltılması İçin Ahır Gübresi Yönetimi." Pp. 7–32 in Değişen Bir Dünyada Sürdürülebilir Tarım Yönetimi (Sustainable Agricultural Management in a Changing World), edited by M. F. Baran, A. Çelik, and K. Bellitürk. Ankara: Iksad Publishing.

Koyuncu, M.Ö. (2022). Adıyaman, Malatya ve Şanlıurfa İllerinde Geometridae (Lepidoptera) Faunası ve Sistematiği Üzerine Araştırmalar. Doktora Tezi. Gaziantep, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 335 s.

Narangoa, L. (2000), Japan's Modernization: The Iwakura Mission to Scandinavia in 1873. Erişim tarihi: 18.01.2024.

Newton, C. N., L. Bartel, K. Frankel-Goldwater, and C. Johns. 2020. What is regenerativeagriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and out-comes [review]. Frontiers in Sustainable Food Systems 4:577723. doi:10.3389/fsufs.2020.577723.

Rodale, R. (1986). Learning to think regeneratively. Bull. Sci. Technol. Soc., 6(1), 6-13. doi.org/10.1177/027046768600600104

REJENERATIF PAMUK TARIMINDA EKIM NÖBETININ ÖNEMI

Cevher İlhan CEVHERİ

Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri, Endüstri Bitkileri, Şanlıurfa, Türkiye, Orcid: 0000-0002-7070-2652

Özet

Pamuk tarımı vejetasyon sürecinde önemli bazı fizyolojik parametreler doğrultusunda yürümektedir. Bitkinin fizyolojik olarak sağlıklı bir süreçten geçmesi için, sağlıklı bir beslenme sürecinden geçmesi gerekir. Günümüzde endüstriyel pamuk tarımının olumsuz etkilerinden, yeni süreçler ve yeni arayışlar araştırılmıştır. Günümüzde tarım sistemlerine baktığımızda; Konvansiyonel (Geleneksel) Tarım, İyi tarım sistemleri, Organik tarım sistemleri, Rejeneratif tarım sistemleri ve Biyodinamik tarım sistemleridir. Rejeneratif tarım sistemi; bozulan bir sistemin düzeltilip onarılması ve sürdürülebilir sistemin ikame edilmesi temel amaçtır. Bu tarım sisteminde; Biyoçeşitlilik, ekim nöbeti, minimum toprak işleme ve pamuk ekim öncesi tarlanın bitki ile kaplanması süreci vardır. Ekim nöbeti; monokültür tarım yerine, farklı çeşitlerin denenmesi sürecidir. Pamuk üretim sistemlerinde ürün rotasyonunun (ekim nöbetinin) çok sayıda faydası bulunmakla birlikte, bu uygulamanın yaygınlaştırılması, çiftçilerin ürünleri ekonomik olarak kârlı bir şekilde rotasyona dahil edebilecekleri koşulların oluşturulmasını gerektirmektedir. Bu kapsamda; rotasyona giren ürünler için hasat sonrası altyapının ve pazar olanaklarının geliştirilmesi, bu ürünlere özgü hasat ekipmanlarının temin edilmesi ve zararlı yönetimi ile gübreleme konularında yeni bilgi ve tekniklerin edinilmesi büyük önem taşımaktadır. Güvenilir ve sertifikalı tohumluk temininin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Rotasyona yeni dahil edilecek bir tarla bitkisini yetiştirecek üreticilerin, başarılı bir üretim için kritik öneme sahip temel agronomik uygulamalar (uygun çeşit seçimi, ekim zamanı ve sıklığı, gübreleme, sulama, yabancı ot ve zararlı yönetimi vb.) hakkında yeterli bilgiye sahip olmaları gerekmektedir. Bu çalışmamızda Pamuk öncesi ekimi yapılan Bakla, Fiğ, fiğ-arpa karışımı, burçak ve diğer bitkilerin toprak biyolojisi, bitki sağlığı, verimlilik ve kalite yönünden izleme ve değerlendirme süreci yapılmıştır. Bu araştırmada temel amaç; rejeneratif tarımda temel ögelerden birisi olan ekim nöbeti sistemlerinin incelenmesi ve diğer tarım sistemleriyle karşılaştırılmasıdır.

Anahtar kelimeler: Pamuk, rejeneratif tarım, ekim nöbeti.

Abstract

Cotton cultivation proceeds in accordance with certain key physiological parameters during the vegetative growth stage. For the plant to undergo a physiologically healthy growth process, it must receive adequate nutrition. In light of the negative impacts of industrial cotton farming, new processes and approaches have been explored. When we examine modern farming systems today, these include: Conventional (Traditional) Farming, Good Agricultural Practices, Organic Farming Systems, Regenerative Farming Systems and Biodynamic Farming Systems. The primary aim of the regenerative farming system is to correct and repair a degraded system and replace it with a sustainable one. This farming system involves biodiversity, crop rotation, minimum tillage, and the process of covering the field with vegetation prior to cotton planting. Crop rotation involves experimenting with different

varieties rather than practising monoculture. Whilst there are numerous benefits to crop rotation in cotton production systems, the widespread adoption of this practice requires the creation of conditions that enable farmers to include crops in the rotation in an economically viable manner. In this context, it is of great importance to develop post-harvest infrastructure and market opportunities for crops included in the rotation, to procure harvesting equipment specific to these crops, and to acquire new knowledge and techniques regarding pest management and fertilisation. Ensuring a reliable and certified supply of seed is of great importance. Producers who will be growing a new field crop to be included in the rotation must possess sufficient knowledge of the fundamental agronomic practices critical to successful production (appropriate variety selection, sowing time and density, fertilisation, irrigation, weed and pest management, etc.). In this study, a monitoring and evaluation process was conducted regarding the soil biology, plant health, productivity and quality of crops such as broad beans, vetch, vetch-barley mixtures, lupin and others grown prior to cotton. The primary objective of this research is to examine crop rotation systems—one of the fundamental elements of regenerative agriculture—and to compare them with other agricultural systems.

Keywords: Cotton, regenerative agriculture, crop rotation.

Giriş

Kârlı ve sağlıklı bir tarım ortamı için toprak sağlığı yönetimi son derece önemlidir ve bu, uzun vadede verimlilik ve çevresel sonuçlar açısından mahsul rotasyonu uygulamalarıyla etkilenebilir. Çeşitli mahsul rotasyonu uygulamaları, çiftçiler tarafından belirli bir arazi parçasında yetiştirilen mahsul türünün yıldan yıla değiştirilmesi anlamına gelir ve iklim desenleri ve çevresel koşullar açısından ayarlanabilir; bu da nihayetinde toprak erozyonunu azaltmaya, toprak verimliliğini ve işlenebilirliğini iyileştirmeye, zararlıları kontrol etmeye ve mahsul verimini artırmaya yardımcı olur. Rotasyonlu olarak yetiştirilen mahsullerde, tek tip ürün yetiştirilenlere göre mahsul verimi %10 daha yüksektir. Mahsul büyümesini destekleyen toprak süreçlerinin ve bunların sağlıklı bir ortamı nasıl düzenlediğinin doğru anlaşılmasıyla, zaman içinde toprak sağlığını korumaya yardımcı olan çeşitli mahsul rotasyon sistemleri tasarlamak mümkündür. Tarım açısından toprak sağlığı, toprağın tarımsal verimliliği sürdürme ve çevresel kaynakları koruma yeteneğini ifade eder. Sağlıklı toprak, besin döngüsü, zararlı ve hastalıkların biyolojik kontrolü ve su ve hava tedarikinin uygun şekilde düzenlenmesi de dahil olmak üzere bitki büyümesini destekler ve bu işlevler, toprağın birbirine bağımlı fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinden etkilenir(Choudhury ve ark., 2024).

Materyal ve Metot

Bu çalışmada teorik araştırmalar, saha çalışmaları ve uygulamalı eğitimler sonucunda ortaya çıkan bütüncül yaklaşım vardır. Araştırma sadece bir tarla bitkileri çalışması değil, aynı zamanda tarımda bozulan dengeleri düzeltmek için tasarlanan yol haritalarını içermektedir.

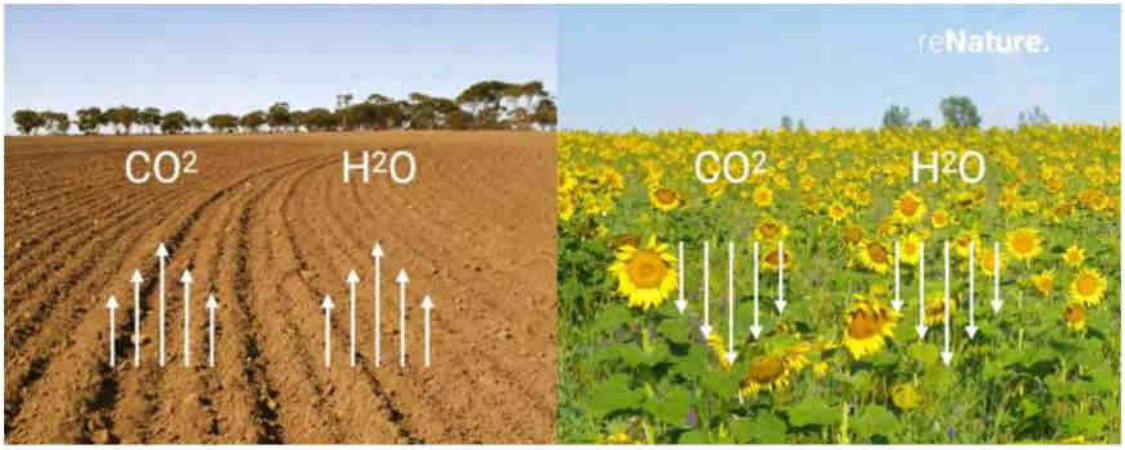
Bulgular ve Tartışma

Regenerative Tarım Uygulamaları: Yenileyici Tarım hedeflerine (çeşitli ürünler yetiştirmek, toprak bozulmasını en aza indirmek ve kalıcı toprak örtüsünü korumak) katkıda bulunabilecek çok çeşitli tarım uygulamaları mevcuttur, ancak bazılarının uygulama alanı daha geniştir ve benimsenmesi daha kolaydır. Bu listenin başında ürün rotasyonu ve bununla ilgili örtü bitkilerinin kullanımı yer almaktadır. Burada temelde üç parametre vardır. Bunlar; Çeşitli ürünler yetiştirmek, minimum toprak işleme ve kalıcı toprak örtüsünün korunmasıdır.

Tarımın başlangıcından bu yana, ürün çeşitliliğinin artırılması dünya genelinde çiftçilere önemli faydalar sağlamıştır. Erken dönem tarım topluluklarına ait bitki ve hayvan kalıntıları

üzerinde yapılan genetik analizler, gıda ve yem amaçlı kullanılan türlerin oldukça geniş bir çeşitliliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Her bir bitki ve hayvan türünün hastalıklara ve olumsuz iklim koşullarına karşı kendine özgü duyarlılıkları bulunduğundan, gıda üretiminin yalnızca birkaç türe dayandırılması geçmişte olduğu gibi günümüzde de önemli riskler taşımaktadır. Bu durum, hem bireysel çiftçi aileleri hem tarımsal topluluklar hem de küresel nüfus açısından geçerlidir.

Biyoçeşitliliğin İyileştirilmesi: Toprağın sağlığını iyileştirmek sadece toprak erozyonunu önlemeye yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda yenileyici çiftlikte daha fazla sayıda canlı organizmanın yaşamasına da olanak tanır. Daha fazla biyoçeşitlilik, yenileyici çiftliğin başarısında bir faktör olmakla birlikte, doğanın geleceği için de umut verici bir tablo çizmektedir. Çiftlikler doğadan ayrı olmak zorunda değildir: canlı organizmalar için yaşam alanları da olabilirler (Renature, 2026).



The advantage of no-till

Ekim Nöbetinin Arttırılmasına Giden Yollar Nelerdir?

Pamuk üretim sistemlerinde ürün rotasyonunun (ekim nöbetinin) çok sayıda faydası bulunmakla birlikte, bu uygulamanın yaygınlaştırılması, çiftçilerin ürünleri ekonomik olarak kârlı bir şekilde rotasyona dahil edebilecekleri koşulların oluşturulmasını gerektirmektedir.

Bu kapsamda; rotasyona giren ürünler için hasat sonrası altyapının ve pazar olanaklarının geliştirilmesi, bu ürünlere özgü hasat ekipmanlarının temin edilmesi ve zararlı yönetimi ile gübreleme konularında yeni bilgi ve tekniklerin edinilmesi büyük önem taşımaktadır.

Güvenilir ve sertifikalı tohumluk temininin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Rotasyona yeni dahil edilecek bir tarla bitkisini yetiştirecek üreticilerin, başarılı bir üretim için kritik öneme sahip temel agronomik uygulamalar (uygun çeşit seçimi, ekim zamanı ve sıklığı, gübreleme, sulama, yabancı ot ve zararlı yönetimi vb.) hakkında yeterli bilgiye sahip olmaları gerekmektedir.

Uygulamanın Faydaları - İki veya daha fazla ürünü ürün rotasyonunda uygulayarak, çiftlikler hastalıklara (mantar, bakteri ve virüs) karşı daha yüksek direnç, daha iyi yabancı ot yönetimi (girdi gerektirmeden), daha yüksek su tasarrufu seviyeleri, daha iyi gübre etkinliği ve sınırlı toprak erozyonu yaşayabilir; bunların tümü verim artışına yol açabilir.

Hedefler - Verim optimizasyonu ve stabilizasyonu, toprak biyolojisinin iyileştirilmesi, zararlı ve hastalık kontrolü, sentetik girdilere olan ihtiyacın azaltılması ve su infiltrasyonunun, toprak neminin, karbon içeriğinin ve ürün verimliliğinin iyileştirilmesi.

Kılavuz - Rotasyon için ürün seçimi, her çiftliğin kendine özgü durumuna göre uyarlanmalı ve iyi tanımlanmış bir ürün rotasyon planına dahil edilmelidir. Mümkün olan yerlerde, özellikle Brassicaceae, Poaceae, Solanaceae veya Umbelliferae gibi türleri içerebilen çeşitli tohum karışımları kullanılırken, azot sabitleyici olarak en az bir baklagil bitkisinin entegre edilmesi önerilir.

Daha geniş bir ürün yelpazesinin rotasyona dahil edilmesi, topraktaki mikrobiyal yaşamın daha geniş bir yelpazesine yol açar. Örtü bitkileri ve ara ekim yapılan ürünler de rotasyondaki ürünlerin genel sayısına dahil edilir; çok yıllık ürünler ise puanlama hususlarından muaftır.

Gereksinimler - Çiftlikler, tarım arazilerinin en az %75'inde geniş bir ürün rotasyonu uygulamalıdır. Bunu yapmamak, belirtilen gereksinimlere uyulmaması anlamına gelir(Regenagri, 2026).

Sonuç

Rejeneratif pamuk tarımında ekim nöbeti, sadece verim artışı sağlayan bir uygulama değil; aynı zamanda toprağın biyolojik, fiziksel ve kimyasal sürdürülebilirliğini sağlayan temel bir yönetim biçimidir. Özellikle farklı kök yapısına ve besin kullanım özelliklerine sahip bitkilerin münavebeye dahil edilmesi, toprak organik maddesinin korunmasına, mikrobiyal aktivitenin artmasına ve besin döngüsünün dengelenmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca toprağın organik madde yönünden zenginleşmesine katkı sağlamaktadır.

Pamuk üretim süreçlerinde uzun yıllar aynı ürünün yetiştirilmesi; hastalık, zararlı ve yabancı ot popülasyonunu artırırken, ekim nöbeti bu olumsuz durumların doğal bir süreçte azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bunun sonucunda kimyasal girdilere olan bağımlılık azalmakta ve daha çevre dostu bir üretim yapısı ortaya çıkmaktadır.

Baklagil bitkilerinin münavebe sistemine dahil edilmesiyle biyolojik azot fiksasyonu desteklenmekte, bu durum ise sentetik azot gübre ihtiyacını azaltarak üretim maliyetlerinin düşmesine katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak; ekim nöbeti bütün üretim süreçlerinde önemli bir uygulama olduğu gibi, rejeneratif pamuk tarımında da toprağın iyileştirilmesi, verimin ve kalitenin arttırılmasını sağlayan bir sistemdir.

Kaynaklar

Choudhury, D., Kumar, P., Zhimo, V. Y., & Sahoo, J. (2024). Crop rotation patterns and soil health management. In *Bioremediation of Emerging Contaminants from Soils* (pp. 565-589). Elsevier. DOI:10.1016/B978-0-443-13993-2.00025-6

Regenagri. 2026. https://regenagri.org/wp-content/uploads/2024/01/regenagri-standard-criteria-v3.1-1.pdf

Renature. 2026. https://www.renature.co/what-is-regenerative-agriculture/

Narangoa, L. (2000), Japan's Modernization: The Iwakura Mission to Scandinavia in 1873. Erişim tarihi: 18.01.2024.

ATIKSU ARITMA SİSTEMLERİNDE ANTİBİYOTİK DİRENÇLİ BAKTERİLERİN KONTROLÜ İÇİN BAKTERİYOFAJ TEMELLİ BİYOKONTROL STRATEJİLERİ: ÇEVRESEL ANTİMİKROBİYAL DİRENÇ YAYILIMINA KARŞI YENİ NESİL YAKLAŞIMLAR

Sabiha HOROZCU, İbrahim Halil KILIÇ

Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep, Türkiye

Özet

Atıksu arıtma tesisleri, patojen mikroorganizmaların ve antibiyotik direnç genlerinin (ARG) çevresel ortamlara yayılımında kritik rol oynayan kompleks mikrobiyal ekosistemlerdir. Konvansiyonel arıtma yöntemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri içermesine rağmen antibiyotik dirençli bakterilerin (ARB) ve direnç genlerinin tamamen elimine edilmesinde sınırlı etkinlik göstermektedir. Bu durum, çevresel antimikrobiyal direnç yayılımının kontrolüne yönelik alternatif ve hedefe özgü biyolojik yaklaşımların geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda bakteriyofajlar, yüksek konak özgüllüğü, biyofilm parçalama kapasitesi ve çevresel olarak sürdürülebilir etki mekanizmaları nedeniyle umut verici biyokontrol ajanları olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada bakteriyofajların atıksu arıtma sistemlerinde biyokontrol amacıyla kullanım potansiyeli; patojen eliminasyonu, aktif çamur sistemlerinde filamentöz bakteri baskılanması, biyofilm oluşumunun kontrolü ve antibiyotik direnç genlerinin yayılımının azaltılması perspektifinde değerlendirilmiştir. Litik döngüye sahip bakteriyofajların hedef bakteriler üzerinde oluşturduğu seçici lizis etkisi sayesinde mikrobiyal topluluk dinamiklerinin düzenlenebildiği ve arıtma verimliliğinin artırılabildiği gösterilmiştir. Ayrıca depolimeraz, endolizin ve holin gibi faj kaynaklı enzimlerin ekstraselüler polimerik maddeleri parçalayarak biyofilm stabilitesini bozduğu ve membran sistemlerinde oluşan operasyonel problemlerin azaltılmasına katkı sağladığı belirlenmiştir.

Bununla birlikte bakteriyofaj uygulamalarının dar konak aralığı, çevresel stabilite değişkenliği ve transdüksiyon yoluyla gen transferi riski gibi bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu nedenle faj kokteylleri, immobilize faj sistemleri, CRISPR-taşıyan bakteriyofajlar ve genetik olarak modifiye edilmiş fajların geliştirilmesi gelecekteki uygulamalar açısından önemli araştırma alanları olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak bakteriyofaj temelli biyokontrol stratejileri, sürdürülebilir atıksu arıtma teknolojilerinin geliştirilmesinde çevresel antimikrobiyal direnç yayılımını sınırlamaya yönelik yenilikçi ve etkili bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: bakteriyofaj, atıksu arıtımı, antibiyotik direnci, biyofilm kontrolü, biyokontrol

ISBN:978-625-8956-09-2